

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

12.01 – МКР. 1916 “С” 2022.12.29. 024 ПЗ

БУГРЯ ЄГОРА АНАТОЛІЙОВИЧА

2023 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет аграрного менеджменту
УДК 005:004:631.15

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету аграрного
менеджменту

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри
адміністративного менеджменту та
ЗЕД

Анатолій ОСТАПЧУК

(підпис)

Олена КОВТУН

(підпис)

" " 2023р.

" " 2023р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

«Сучасні інформаційні системи в управлінні агробізнесом»

Спеціальність

073 «Менеджмент»

(код і назва)

Освітня програма

Орієнтація освітньої програми

Адміністративний менеджмент

(назва)

освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

к.е.н., доцент

Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи

к.е.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Олена КОВТУН

Альона ЦЮРІНА

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Євген БУГРІЙ

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет аграрного менеджменту

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри адміністративного
менеджменту та ЗЕД

д.е.н., проф

Віталій ЛУЦЬК

2022 року

ЗАВДАННЯ

до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту

Бугрію Єгору Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 073 Менеджмент

Освітня програма Адміністративний менеджмент

Орієнтація освітньої програми освітньо - професійна

Тема магістерської роботи: «Сучасні інформаційні системи в управлінні агробізнесом»

Затверджена наказом ректора НУБіП України від «29» грудня 2022 р. № 1916 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 00 2023.11.08

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: законодавчі акти, навчальна та наукова література, офіційні статистичні матеріали, фінансова звітність підприємства, технологічні карти, постанови, розпорядження та публікації наукових установ

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ АГРОБІЗНЕСОМ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
2. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В АГРОБІЗНЕСІ
3. НАПРЯМИ ПОШИРЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В УКРАЇНСЬКОМУ АГРОБІЗНЕСІ

Перелік графічного матеріалу: таблиці, рисунки, схеми

Дата видачі завдання « 30 » грудня 2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної
роботи

Альона ТЮРІНА

Завдання прийняв до виконання

Єгор БУГРІЙ

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Сучасні інформаційні системи в управлінні агробізнесом» складається зі вступу, трьох розділів, висновку та списку використаних джерел. Викладена на 88 сторінках комп'ютерного тексту, містить 9 таблиць, 28 рисунків та 68 використаних джерел.

Метою магістерської роботи є вивчення впливу сучасних інформаційних систем в управлінні агробізнесом на підвищення якості продукції і ефективності діяльності компаній, оптимізації затрат виробництва та побудова алгоритму масштабування досвіду використання інформаційних систем компанією Сингента на кінцевих агровиробників, враховуючи переваги, потенційні проблеми та тенденції розвитку даного напрямку.

Об'єктом дослідження є процес використання інформаційних систем і найсучасніших методів в компанії Сингента та аналіз їхнього впливу на ефективність управління агробізнесом в цілому.

Предметом дослідження є обґрунтування теоретичних та практичних засад використання сучасних інформаційних систем в управлінні агробізнесом.

Залежно від поставлених завдань під час дослідження використовувалися загальнонаукові методи системного аналізу, історичного та логічного спостереження, метод аналізу та синтезу, методи графічного зображення, групування, порівняння для обробки інформації, опитування та узагальнення.

Для підведення підсумків роботи використано метод узагальнення.

Інформаційною базою дослідження є наукові статті та публікації з питань управління агробізнесом та застосування інформаційних технологій у цій галузі, дослідження та звіти аграрних організацій та фермерських господарств, щодо впровадження та використання інформаційних систем, відкриті дані та статистика з питань аграрного виробництва та використання інформаційних технологій, експертні оцінки та відгуки фахівців з питань управління агробізнесом та інформаційних технологій.

Практичне значення полягає у побудові алгоритму масштабування досвіду

використання інформаційних систем компанією Сингента на кінцевих агровиробників, враховуючи переваги, потенційні проблеми та тенденції розвитку даного напрямку.

У процесі дослідження в першому розділі розкрито окремі основи управління агробізнесом з використанням сучасних інформаційних систем, визначено поняття, принципи та алгоритми використання інформаційних систем в сільському господарстві, описано сучасні технології та системи автоматизації управління аграрними підприємствами. В другому розділі проаналізовано

ефективність практичних аспектів використання вегетативних індексів і карт, супутників і дронів для моніторингу господарств; визначено підходи і методи, які застосовуються сьогодні в компанії Сингента для вирішення стратегічних завдань управління агробізнесом. В третьому розділі викладені напрями

поширення використання сучасних інформаційних систем для підвищення ефективності управління агробізнесом зокрема з використанням штучного інтелекту; запропонована модель кооперації та масштабування досвіду використанні інформаційних технологій компанії Сингента з кінцевими агровиробниками.

Ключові слова: інформаційні системи, інноваційні технології, сучасні технології, управління агробізнесом, цифрова агрономія, Автоматизація, діджиталізація.

НУБІП України

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ АГРОБІЗНЕСОМ З

ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ 11

НУБІП України

1.1. Поняття та принципи використання інформаційних систем в управлінні агробізнесом 11

1.2. Сучасні технології та системи автоматизації управління аграрними підприємствами 16

1.3. Алгоритми використання інформаційних систем в агробізнесі 21

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ

ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В АГРОБІЗНЕСІ 31

2.1. Аналіз використання вегетативних індексів і карт в управлінні агробізнесом 31

НУБІП України

2.2. Аналіз переваг використання супутників і дронів в управлінні агробізнесом 38

2.3. Використання сучасних інформаційних систем компанією Сингента для вирішення стратегічних завдань управління агробізнесом 45

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. НАПРЯМИ ПОШИРЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ

ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В УПРАВЛІННІ АГРОБІЗНЕСОМ 67

3.1. Підвищення ефективності управління агробізнесом з використанням штучного інтелекту 67

3.2. Модель кооперації та масштабування досвіду використанні інформаційних технологій компанії Сингента з кінцевими агровиробниками 73

НУБІП України

ВИСНОВКИ 78

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 81

ДОДАТКИ 89

НУБІП України

ВСТУП

НУБІП України

Актуальність. Сьогодні агробізнес є однією з найбільш важливих галузей господарства в більшості країн світу, включаючи Україну. Важливість цієї галузі полягає в тому, що вона забезпечує людство продуктами харчування та різноманітними сировинними матеріалами для інших галузей виробництва. Якщо багато років тому агробізнес був заснований виключно на людській праці, то зараз ситуація різко змінилася.

НУБІП України

В той же час, сучасні інформаційні технології відіграють сьогодні важливу роль в управлінні агробізнесом та забезпечують ефективне використання ресурсів. Інформаційні системи забезпечують швидке та точне отримання даних, збільшують продуктивність, поліпшують якість продукції, знижують витрати та підвищують прибуток. Застосування сучасних технологій дозволяє збільшувати врожайність та якість продукції, знижувати затрати на виробництво, управляти складським господарством та маркетинговою діяльністю.

НУБІП України

Отже, дане дослідження є актуальним, оскільки воно спрямоване на вивчення застосування сучасних інформаційних технологій в агробізнесі, а також на аналіз їх впливу на ефективність управління та виробництва продукції.

НУБІП України

Результати цього дослідження можуть стати корисними для аграрних підприємств, які прагнуть покращити свою діяльність, знизити витрати та збільшити прибуток.

НУБІП України

Вивченням даного питання займалися на ряду з іноземними багато українських вчених, зокрема Буряк Р.І. [4], Галаєва Д.В. [52, 60], Гнатюк Г.М. [5, 6, 7, 40, 41], Горобець И.М. [18], Діброва А.Д. [20], Зеліньська О.В. [9, 10], Єрмаков О.Ю. [12], Лазебник Л.Л. [48], Коваленко Н.О. [45], Остапчук А.Д. [56], Резнік Н.П. [56], Сайко В.Г. [11, 39], Скрипник А.В. [60], Тараріко О.Г. [22], Цветкова І.І. [63], Циганок В.В. [64],

НУБІП України

Швиденко М.З. [24], Юрчук Н.П. [25] та багато інших науковців. Проте швидкий розвиток науки та технологій, бажання бізнесу оптимізувати витрати і автоматизувати виробничі процеси створюють нові виклики для сучасної науки.

Метою даного дослідження є вивчення впливу сучасних інформаційних систем в управлінні агробізнесом на підвищення якості продукції і ефективності діяльності компаній, оптимізації затрат виробництва та побудова алгоритму масштабування досвіду використання інформаційних систем компанією Сингента на кінцевих агровиробників, враховуючи переваги, потенційні проблеми та тенденції розвитку даного напрямку.

Для досягнення запланованої мети, нами поставлені наступні **завдання**.

- визначити поняття та принципи використання інформаційних систем в управлінні агробізнесом;
- дослідити сучасні технології та системи автоматизації управління аграрними підприємствами;
- надати актуальні приклади і алгоритми використання інформаційних систем в агробізнесі;

- проаналізувати використання вегетативних індексів і карт в управлінні агробізнесом
- довести переваги використання супутників і дронів в управлінні агробізнесом;

- дослідити використання сучасних інформаційних систем компанією Сингента для вирішення стратегічних завдань управління агробізнесом;
- запропонувати напрями для підвищення ефективності управління агробізнесом з використанням штучного інтелекту;

- надати рекомендації модель кооперації та масштабування досвіду використанні інформаційних технологій компанії Сингента з кінцевими агровиробниками

Об'єктом дослідження є процес використання інформаційних систем і найсучасніших методів в компанії Сингента та аналіз їхнього впливу на ефективність управління агробізнесом в цілому.

Предметом дослідження є обґрунтування теоретичних та практичних засад використання сучасних інформаційних систем в управлінні агробізнесом.

Методи дослідження. Залежно від поставлених завдань під час

дослідження використовувалися загальнонаукові методи системного аналізу, історичного та логічного спостереження, метод аналізу та синтезу, методи графічного зображення, групування, порівняння для обробки інформації, опитування та узагальнення. Для підведення підсумків роботи використано метод узагальнення.

Інформаційною базою дослідження є наукові статті та публікації з питань управління агробізнесом та застосування інформаційних технологій у цій галузі, дослідження та звіти аграрних організацій та фермерських господарств, щодо впровадження та використання інформаційних систем, відкриті дані та статистика з питань аграрного виробництва та використання інформаційних технологій, експертні оцінки та відгуки фахівців з питань управління агробізнесом та інформаційних технологій.

Результати магістерської кваліфікаційної роботи представлені на VI Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, присвяченій 125-річчю НУБІП України «НОВІ ВИКЛИКИ ДЛЯ АГРАРНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ В УМОВАХ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ» (м. Київ, 18-19 травня 2023 р.) та IV Міжнародній науково-практичній онлайн-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Сучасний менеджмент: виклики та можливості» (м. Київ, НУБІП України, 25-26 жовтня 2023 р.)

У процесі дослідження в першому розділі розкрито окремі основи управління агробізнесом з використанням сучасних інформаційних систем, визначено поняття, принципи та алгоритми використання інформаційних систем в сільському господарстві, описано сучасні технології та системи автоматизації управління аграрними підприємствами. В другому розділі проаналізовано ефективність практичних аспектів використання вегетативних індексів і карт, супутників і дронів для моніторингу господарств; визначено підходи і методи, які застосовуються сьогодні в компанії Сингента для вирішення стратегічних завдань управління агробізнесом. В третьому розділі викладені напрями поширення використання сучасних інформаційних систем для підвищення ефективності управління агробізнесом зокрема з використанням штучного

інтелекту; запропонована модель кооперації та масштабування досвіду використання інформаційних технологій компанії Сингента з кінцевими агровиробниками.

Практичне значення полягає у побудові алгоритму масштабування досвіду використання інформаційних систем компанією Сингента на кінцевих агровиробників, враховуючи переваги, потенційні проблеми та тенденції розвитку даного напрямку.

Структура роботи. Магістерська кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел. Основний текст магістерської кваліфікаційної роботи викладено на 88 сторінках друкованого тексту, робота містить 9 таблиць і 28 рисунків. Список використаних джерел включає 68 найменувань.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ АГРОБІЗНЕСОМ З
ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ1.1. Поняття та принципи використання інформаційних систем в
управлінні агробізнесом.

Спроби з відстані обстежити поверхню Землі почалися з моменту, відколи людство винайшло літальні апарати, і здійснювали їх насамперед у військовій галузі. Використовували переважно фотозйомку певних об'єктів, які становили інтерес, а вже з появою літальних апаратів, здатних підійматися на велику висоту, почала інтенсивно розвиватися аеророзвідка для суцільного обстеження великих територій.

Перший такий проєкт, наближений до сучасності, реалізували у США 1955 року, це був U-2 Lockheed (Dragon Lady). Літаки-розвідники могли з висоти майже 21 км вести зйомку з розподільчою здатністю 0,76 м. Унікальна камера із запасом плівки 1800 м давала змогу знімати смугу завширшки 150 км і завдовжки 3000 км.

З освоєнням космічних технологій ці можливості вдосконалювалися. Уже перший супутник-розвідник у програмі Corona (програма наукових досліджень мала назву Discoverer) зробив більше фотографій, ніж усі попередні літаки у програмі U-2. Проте через застосування плівки ця робота коштувала надто дорого, а обробка даних потребувала багато часу. Одним із перших використовувати можливості космосу для вивчення Землі запропонував ще 1965 року директор геологічної служби США Вільям Пекора (William Thomas Pecora) [55]. Пекора був директором USGS, коли 1963 року розпочалася програма астрогеологічних досліджень (Astrogeology Research Program, 1963). З 1964 року для дослідження земних ресурсів (ERTS) NASA паралельно запускали супутники Nimbus і радіометри Advanced Very High Resolution, які вимірювали

відбиття планети в червоних і ближньому інфрачервоному діапазоні, а також у тепловому інфрачервоному діапазоні с. У цих ранніх датчиків була мінімальна спектральна розподільча здатність, водночас у них була тенденція включати смуги в червоному і ближньому інфрачервоному діапазоні, корисні, зокрема, для розрізнення рослинності та хмар.

У середині 1970-х років з'явилися технології цифрової передачі даних, серед яких і фотографії. Це розширило можливості супутникового обстеження і зменшило його вартість. Виникла ідея використовувати ці технології не тільки у військових цілях. У 1972 році NASA запустила супутник ERTS, незабаром

перейменованій на Landsat-1 (Earth Resources Technology Satellite 1), основним завданням якого було дистанційне зондування Землі для збору інформації про природні ресурси планети [51].

Настала нова ера наукових обстежень для сільського господарства, картографії, геології, лісництва та інших сфер науки про довкілля. До речі, супутник саме цієї програми першим підтвердив Чорнобильську катастрофу 1986 року. На цих супутниках уже використовували мультиспектральні камери для збору й аналізу даних про стан Землі.

Одне з цих ранніх досліджень було спрямовано на дослідження вегетації протягом сезону в районі Великих рівнин у центральній частині США. Автори цього дослідження, аспірант Дональд Дірінг і його керівник доктор Роберт Хаас [51, 55], виявили, що через супутникові спектральні сигнали можна встановити або кількісно визначити біофізичні характеристики рослинності

пасовищ у цьому регіоні. Згодом за допомогою математика доктора Джона Шелла вони обчислили відношення різниці червоних та інфрачервоних променів до їх суми як засіб для регулювання або «нормалізації» ефектів кута сонячного зеніту [51, 55]. Спочатку вони назвали цей коефіцієнт «індексом рослинності»

(інший варіант – перетворення квадратного кореня відношення суми різниці, «індекс трансформованої рослинності»). Однак інші дослідники дистанційного зондування ідентифікували просте відношення червоного / інфрачервоного випромінювання та інші спектральні співвідношення як «індекс рослинності»,

тому зрештою і Дірінг та Хаас почали визначати формулювання співвідношення різниці / сума як нормалізованого індексу рослинності.

Одним із перших у дистанційному зондуванні Землі було використано індекс RVI у вигляді такої формули [51, 55] (1.1):

$$RVI = \rho_{bc} / \rho_c, \quad (1.1)$$

де ρ_{bc} – значення ближнього червоного спектра, ρ_c – значення червоного спектра.

Найбільшу популярність здобув індекс NDVI [44], що його вперше описали д-р Джон Роуз із колегами 1973 року. Джон Роуз очолював тоді Центр дистанційного зондування Техаського університету A&M, де проводили дослідження Великих рівнин.

З появою цього індексу методи дистанційного зондування в агросекторі набрали практичного значення. Спочатку це було переважно прогнозування врожайності, згодом з появою нових індексів, приладів, більшого доступу до баз даних ці методи почали широко використовувати для поточного моніторингу посівів, з'ясування стану їх розвитку. Нові підходи до інтерпретації даних дали змогу розширити сфери застосування супутникових знімків в аграрному секторі.

Ще більший поштовх для дистанційного моніторингу дала поява на ринку різних безпілотних апаратів, приладів для них, які дозволяють зменшити недоліки космічного зондування. Наприклад детальніша, з більшою роздільною здатністю зйомка посівів із використанням різних типів камер (спектральні, RGB, тепловізори тощо). Популярності набирає диференційоване внесення пестицидів або добрив, які базуються саме на дистанційних методах обстеження.

Так само науково-технічний прогрес у мікроелектроніці, інформаційній і телекомунікаційній техніці, у галузі штучного інтелекту викликають появу нових приладів, які допомагають швидко й точно визначати різні агрономічні параметри (стан ґрунту, доступність елементів живлення, фізіологічні параметри стану рослин тощо). Дедалі популярніший серед аграріїв термін «точне землеробство», хоча його означення дискутується. Міжнародне товариство з точного землеробства [61] 2019 року запропонувало опис терміна: «точне

землеробство – це стратегія управління, яка збирає, обробляє й аналізує часові, просторові та індивідуальні дані і поєднує їх з іншою інформацією для підтримки управлінських рішень відповідно до розрахункової мінливості для підвищення ефективності використання ресурсів, продуктивності, якості, прибутковості та сталості сільськогосподарського виробництва». Відтак одним із складників точного землеробства має бути цифрова агрономія.

Дослідження в цьому напрямі ведуться і в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України – розробляються методи дистанційної діагностики стану рослин у посівах на основі вдосконалення спектрів відбиття. Спектри відбиття,

які реєструються в цифровому вигляді, дають змогу оцінювати низку важливих показників, таких як прогноз врожаю, ступінь зрілості, ранні ознаки хвороби рослин. За підтримки Українського науково-технічного центру (УНТЦ) та у співпраці із заводом «Арсенал» було розроблено польовий спектрометр для реалізації розробленого алгоритму вимірювань, який можна використовувати в багатьох напрямках моніторингу в рослинництві.

Дослідження з дистанційного зондування лісів і агрофітоценозів проводять також у Державній установі «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України».

Загалом, поняття інформаційна (автоматизована) система визначає Закон України «Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах» це організаційно-технічна система, в якій реалізується технологія обробки інформації з використанням технічних і програмних засобів. В агропромисловому комплексі Інформаційні системи використовуються, в першу чергу, з метою покращення економічних та виробничих показників підприємства. Сучасні інформаційні системи сьогодні мають надзвичайно важливе значення для агробізнесу і сільського господарства в цілому, що передбачає безумовне впровадження їх у виробництво. Ця тенденція втілюється на загальнодержавному рівні в конкретних рішеннях Міністерством аграрної політики та продовольства України. Зокрема було прийнято відповідні законодавчі документи з інформатизації - Закони "Про комп'ютеризацію" та

"Інформатизацію АПК"; Постанова "Про затвердження Положення про Реєстр інформаційних, телекомунікаційних та інформаційно-телекомунікаційних систем органів виконавчої влади, а також підприємств, установ і організацій, що належать до сфери їх управління". Ось, для прикладу, неповний перелік найпоширеніших сучасних технологій, що використовуються сьогодні в агрономії з використанням інформаційних систем:

- електронні мапи полів та відповідне програмне забезпечення для роботи з ними;

- моніторинг техніки на базі систем супутникової навігації (стеження за місцем розташування, рівнем палива і іншими параметрами);

- автоматизовані прилади (сканери) для аналізу ґрунтів;

- «розумні» метеостанції для збору, обробки і аналізу інформації про погодні умови;

- системи моніторингу врожайності та «точного» внесення добрив і засобів захисту рослин;

- геоінформаційні системи та системи дистанційного зондування землі;

- технології з використанням штучного інтелекту для розпізнавання образів та 3D сканування.

Інформація отримання за допомогою цих технологій використовується зокрема для обчислення необхідної кількості посівного матеріалу, оцінки стану ґрунту для проведення сівозмін, проектування схеми посівних площ на майбутні сезони, фіксації кліматичних змін і моделювання метеопрогнозів, ідентифікація і вчасні заходи для боротьби з хворобами, шкідниками та бур'янами [10, 25].

Використання інформаційних систем та сучасних технологій суттєво підвищує ефективність виробництва та допомагає вирішувати багато проблем.

Інформаційні системи дозволяють зберігати, обробляти та аналізувати великі об'єми даних. На основі цих результатів пропонувати рішення проблем, що

дозволять максимізувати прибуток та мінімізувати витрати аграрних підприємств. Впровадження інформаційних систем і цифрових технологій сприяє прийняттю обґрунтованих стратегічних управлінських рішень,

спрямованих на зростання конкурентоспроможності і посилення економічної безпеки підприємства. Це дозволить забезпечити ефективне розширення діяльності аграрного сектору та стане запорукою успішного розвитку національної економіки.

1.2. Сучасні технології та системи автоматизації управління аграрними підприємствами

Якщо запитати, що таке цифрова агрономія, мабуть, кожна людина замислиться і почне шукати свою відповідь на це питання. І кожна по-своєму розуміє цей термін. Хтось пов'язує це із супутниковим моніторингом, хтось – зі штучним інтелектом, хтось – із додатками в смартфоні тощо. В одній публікації наведено таке тлумачення цифрового сільського господарства: це «сільське господарство, яке базується на сучасних засобах виробництва сільськогосподарської продукції і продовольства з використанням цифрових технологій (інтернет-речей, робототехніки, штучного інтелекту, аналізу великих масивів даних, електронна комерція та інше), що забезпечує ріст продуктивності праці і зниження витрат на виробництво».

Є ще кілька формулювань у цьому ключі. Цифрова платформа – це група технологій, які використовуються як основа для створення конкретної і спеціалізованої системи цифрової взаємодії [21, 29]. Це проривні інновації, інтегрована інформаційна система, яка забезпечує багатосторонню взаємодію користувачів з обміну інформацією й цінностями, що призводить до зниження загальних витрат на транзакції, оптимізації бізнес-процесів, підвищення ефективності ланцюжка поставок товарів і послуг [43]. Цифрова технологія – це технологія, заснована на подачі сигналів дискретних смуг аналогових рівнів, а не у вигляді безперервного спектра [48]. Цифрові технології використовуються переважно в цифрових обчисленнях, передусім у комп'ютерах, а також у різних галузях електротехніки тощо.

Так само цифровою агрономією можна вважати використання непрямих методів вимірювання фізичних величин, які потім на основі кореляційної залежності перераховуються в агрономічні (біологічно значимі) показники.

Отже, цифрова агрономія – це одержання різноманітних агрономічних параметрів (наявність елементів живлення, показників ґрунту, стану розвитку рослин, вологозабезпеченості та інше) шляхом знаходження кореляційних зв'язків між вимірюванням різноманітних фізичних показників (електричної напруги, спектра світла, температури й вологості тощо) й індикаторами, які використовують у землеробстві, та обчислення їх за допомогою формул із застосуванням емпірично-статистичних методів або з використанням ШІ.

В останні десятиліття підприємства аграрного сектору активно впроваджують цифрові інновації. У сільському господарстві та переробній промисловості використовуються наукові досягнення в галузі робототехніки, автоматизованих систем прийняття рішень, точного землеробства, дистанційного зондування землі та супутникового картографування. Інтернет речей, хмарні обчислення, великі дані, блокчейн, штучний інтелект мають широкі можливості для застосування в аграрному секторі [8]. Ці технології перетворюють аграрний сектор на гнучку інтелектуальну систему. Використання цифрових технологій дозволить у майбутньому інтегрувати кожен з технологічних процесів у виробничий ланцюжок.

У зв'язку зі специфічними особливостями сільськогосподарського виробництва (рис 1.1.), концепція розумного сільського господарства є надзвичайно актуальною. Фермери стикаються з низкою викликів під час вирощування та збору врожаю. Недостатнє врахування специфічних факторів може призвести до втрати врожаю. Точне землеробство використовується для підвищення врожайності сільськогосподарських культур за допомогою передових технологій. Сучасні технології дають можливість отримувати інформацію про різні аспекти навколишнього середовища. Окрім моніторингу навколишнього середовища, для підвищення врожайності сільськогосподарських культур необхідно застосовувати й інші рішення.

Наприклад, фермери використовують інсектициди та пестициди для усунення негативного впливу комах та шкідників на врожай. Обприскування посівів та внесення добрив можна контролювати за допомогою сучасних технологій.

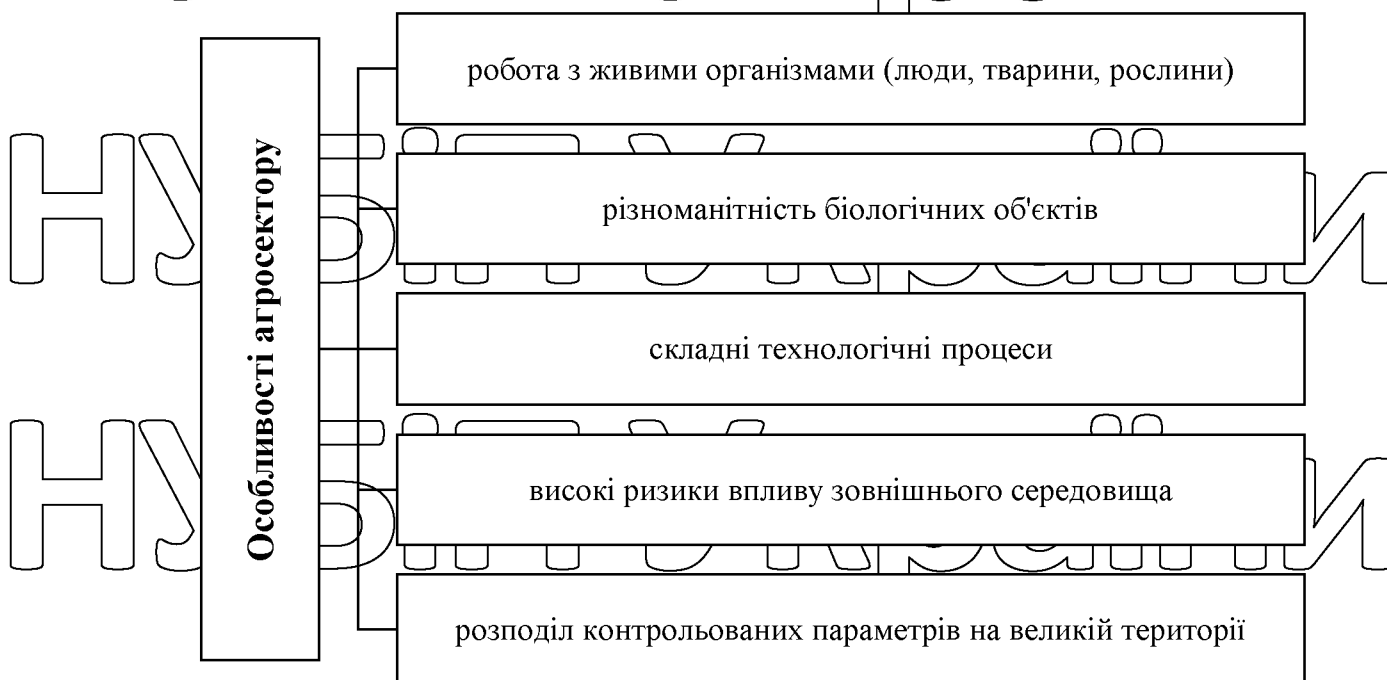


Рис. 1.1. Особливості сільського господарства.

Джерело, побудовано автором на основі [8].

Різноманітність біологічних об'єктів, які піддаються впливу в сільському господарстві, а також різноманітні та складні технологічні процеси, вимагають використання технологій обробки великих масивів даних та хмарних сховищ. Високий рівень продуктивності сучасних обчислювальних потужностей дозволяє зберігати, аналізувати та обробляти великі обсяги даних. Як правило, сільськогосподарське виробництво розкидане на великій території. У зв'язку з цим виникає необхідність консолідації контрольованих параметрів. Використання хмарних технологій дозволяє отримати додаткову економію на комунікаціях та доступ до спільних документів. Вирішення всіх проблем полягає у врахуванні особливості агровиробництва та розробити інтегровану систему, яка містить сучасні цифрові технології.

Нині набирає популярності опція розпізнавання видів рослин за фотографіями або підрахунок сходів, коли на комп'ютері виділяють посіяні сходи серед інших рослин і підраховують їх кількість. Це робиться за допомогою

штучного інтелекту (ШІ).

Це технологія, точніше, напрям у сучасній науці, яка вивчає способи навчання, комп'ютерну, роботизовану техніку, аналітичні системи, щоб мислити розумно – як людина [28, 29, 52].

Дослідження в галузі ШІ проводяться шляхом вивчення розумових здібностей людини і перенесення результатів у сферу комп'ютерної діяльності.

ШІ отримує інформацію з різних джерел і дисциплін. Це інформатика, математика, лінгвістика, психологія, біологія, інженерія. На основі масиву даних машини намагаються імітувати інтелект людини за допомогою технології машинного навчання.

Основні цілі ШІ прозорі. Це створення аналітичних систем, які мають розумну поведінку, можуть вчитися, робити прогнози і гіпотези на основі масиву даних самостійно або під наглядом людини; впровадження людського інтелекту в машині – створення роботизованих помічників, які можуть поводитися, як люди, – думати, вчитися, розуміти і виконувати завдання.

Зі штучним інтелектом тісно пов'язано машинне навчання. Машинне навчання (МН) – це принцип розвитку штучного інтелекту на основі алгоритмів самонавчання [28]. Участь людини в цьому підході обмежується завантаженням

масиву інформації в «пам'ять» машини і постановкою цілей.

Уявляє кілька методів машинного навчання:

1. Навчання з викладачем – людина ставить перед собою конкретну мету, хоче перевірити гіпотезу або підтвердити регулярність.

2. Навчання без викладача – результат інтелектуальної обробки попередньо невідомих даних – комп'ютер самостійно знаходить закономірності, вчиться мислити, як людина.

3. Глибоке навчання – це змішаний шлях, основна відмінність в обробці великих обсягів даних і використанні нейронних мереж. Нейромережа – математична модель, яка імітує структуру і функціонування нервових клітин живого організму [3, 42]. В ідеалі ця система самонавчальна. Якщо перевести принцип на технологічну основу, то нейронна мережа – це безліч процесорів, які

виконують єдине завдання в масштабному проєкті. Інакше кажучи, суперкомп'ютер – це мережа багатьох звичайних комп'ютерів.

Глибоке навчання класифікується як окремий принцип ШІ, адже цей метод використовується для виявлення закономірностей у величезних обсягах інформації. Для такої важкої для людини роботи комп'ютер використовує вдосконалену техніку. Когнітивні обчислення – одна з областей ШІ, яка вивчає і впроваджує процеси природної взаємодії між людьми і комп'ютерами, такими як взаємодія людини. Мета технології штучного інтелекту – повністю імітувати діяльність людини найвищого порядку – мову, образно-аналітичне мислення.

Комп'ютерний зір це напрям ШІ, який використовують для розпізнавання графічних і відеозображень [43, 53]. Сьогодні машинний інтелект може обробляти й аналізувати графічні дані, інтерпретувати інформацію відповідно до навколишнього середовища. На рисунку 1.2. представлено широкий спектр цифрових технологій, які впливають на ланцюг агропродовольчої вартості у межах блоків з високим, середнім та низьким впливом. Важливо зазначити, що цифрові технології часто розвиваються паралельно та потім інтегруються або поєднуються окремими елементами.

Поліпшення технологій включає інтеграцію цифрових рішень вже існуючих систем з метою підвищення їхньої ефективності. Наприклад, комбінація Інтернету речей, великих обсягів даних (Big Data) та штучного інтелекту є однією з поширених практик, так само як і поєднання штучного інтелекту з роботизацією. Дрони часто використовуються спільно з супутниками та великими обсягами даних. Крім того, окремі цифрові технології спрямовані на зменшення ризиків у сільськогосподарському виробництві. Наприклад, вони використовуються для виявлення хвороб сільськогосподарських культур та тварин, створення детальних карт ґрунту та контролю над пошкодженнями рослин за допомогою дронів. Глобальне позиціонування GPS надає можливість контролювати фактичне розташування, переміщення та використання сільськогосподарської техніки тощо.

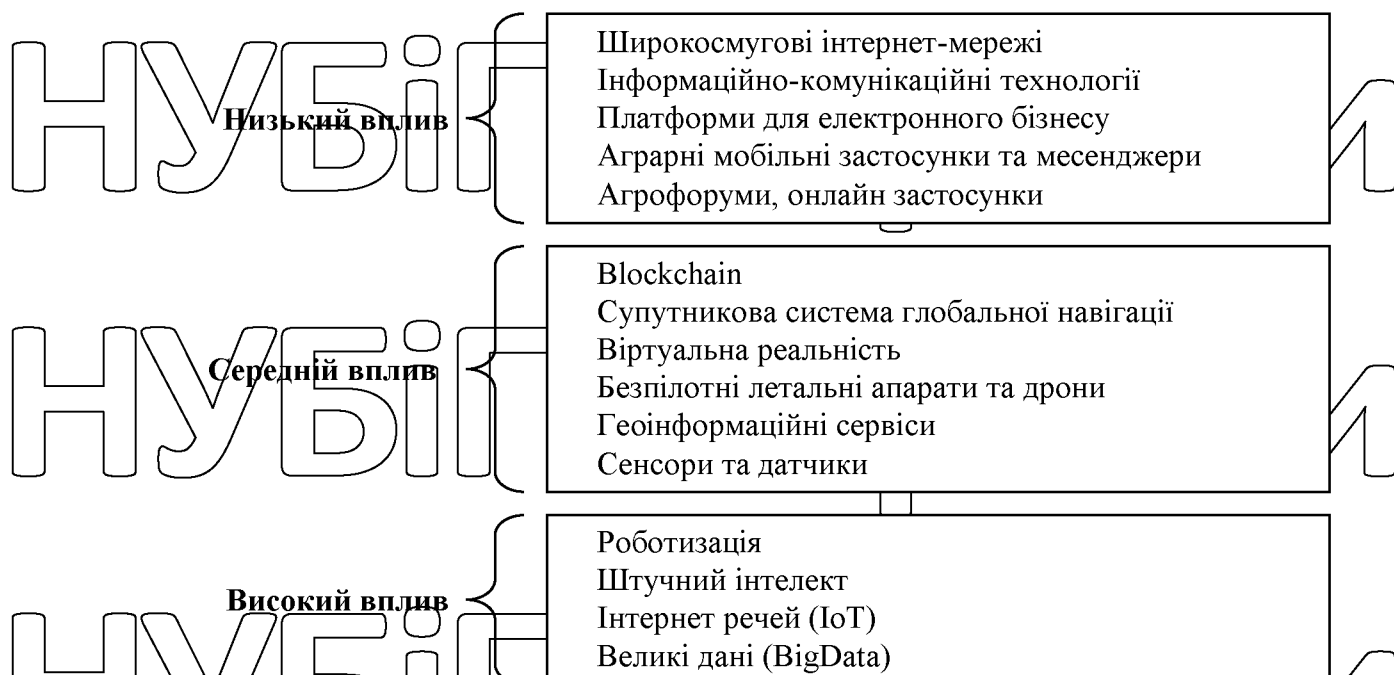


Рис. 1.2. Цифрові технології за ступенем впливу на розвиток сільськогосподарських підприємств.

Джерело побудовано автором на основі [21].

Висновок полягає в тому, що впровадження цифрових технологій приносить значну користь усьому ланцюгу вартості агропродовольчого сектора. Ці технології покращують ефективність виробництва, зменшують ризики та сприяють розвитку сільськогосподарських підприємств. Отже, використання цифрових технологій є важливим кроком у напрямку сталого розвитку аграрного сектора.

1.3. Алгоритми використання інформаційних системи в агробізнесі.

Далі ми розглянемо приклади використання різного роду цифрових приладів у сучасній агрономічній практиці. Почати варто з використання для обстеження посівів різноманітних вегетаційних індексів, які стають дедалі популярнішими серед аграріїв.

Якщо подивитися на сонячне світло крізь призму, ми побачимо багато хвиль різної довжини, з яких воно складається. Саме сонячне світло – джерело

випромінювання, яке реєструють дистанційні системи зондування поверхні Землі. Потік сонячної радіації, який надходить у ландшафтну оболонку (після проходження шару атмосфери), ділиться на кілька частин: частину радіації поглинають природні об'єкти, іншу частину вони пропускають, а третю – відбивають. Завдяки тому, що енергетичне співвідношення між цими трьома складниками для різних природних об'єктів різне, око людини здатне їх розрізнити.

Поглинуте випромінювання – це та частина світлового потоку, яка, потрапляючи в об'єкт, трансформується в енергію інших видів [27]. Поглинальна здатність більшості природних об'єктів спектрально селективна. Наприклад, рослини поглинають головне випромінювання блакитної і червоної зон спектра, що використовуються в процесі фотосинтезу. В об'єктах неживої природи поглинута променева енергія перетворюється на теплову, механічну і хімічну.

Частина поглинутої енергії, яка йде на нагрівання поверхні, повертається в простір у вигляді теплового випромінювання, що перебуває в інфрачервоній частині спектра. Енергія відбитого об'єктами випромінювання в загальному вигляді складається з двох частин – енергії випромінювання, відбитого безпосередньо поверхнею об'єкта, та енергії випромінювання, розсіяного внутрішніми структурними складниками об'єкта.

При потраплянні сонячного світла на об'єкти, одні частини цього спектра поглинаються, а інші – відбиваються. Пігмент у листках рослин, хлорофіл, добре поглинає видиме світло (від 0,4 до 0,7 мкм) для використання у фотосинтезі. З іншого боку, клітинна структура листків сильно відбиває ближнє інфрачервоне світло NIR (від 0,7 до 1,1 мкм). Саме принцип фіксації невидимого для ока спектра NIR, який відбивається від здорових рослин і поглинається пригніченими, дає змогу визначити проблему ще до її видимих ознак. Що здоровіша рослина, то більший у неї NIR (рис. 1.3.), а у пригнічених рослин NIR менший за рахунок поглинання цього спектра рослиною у стресі.

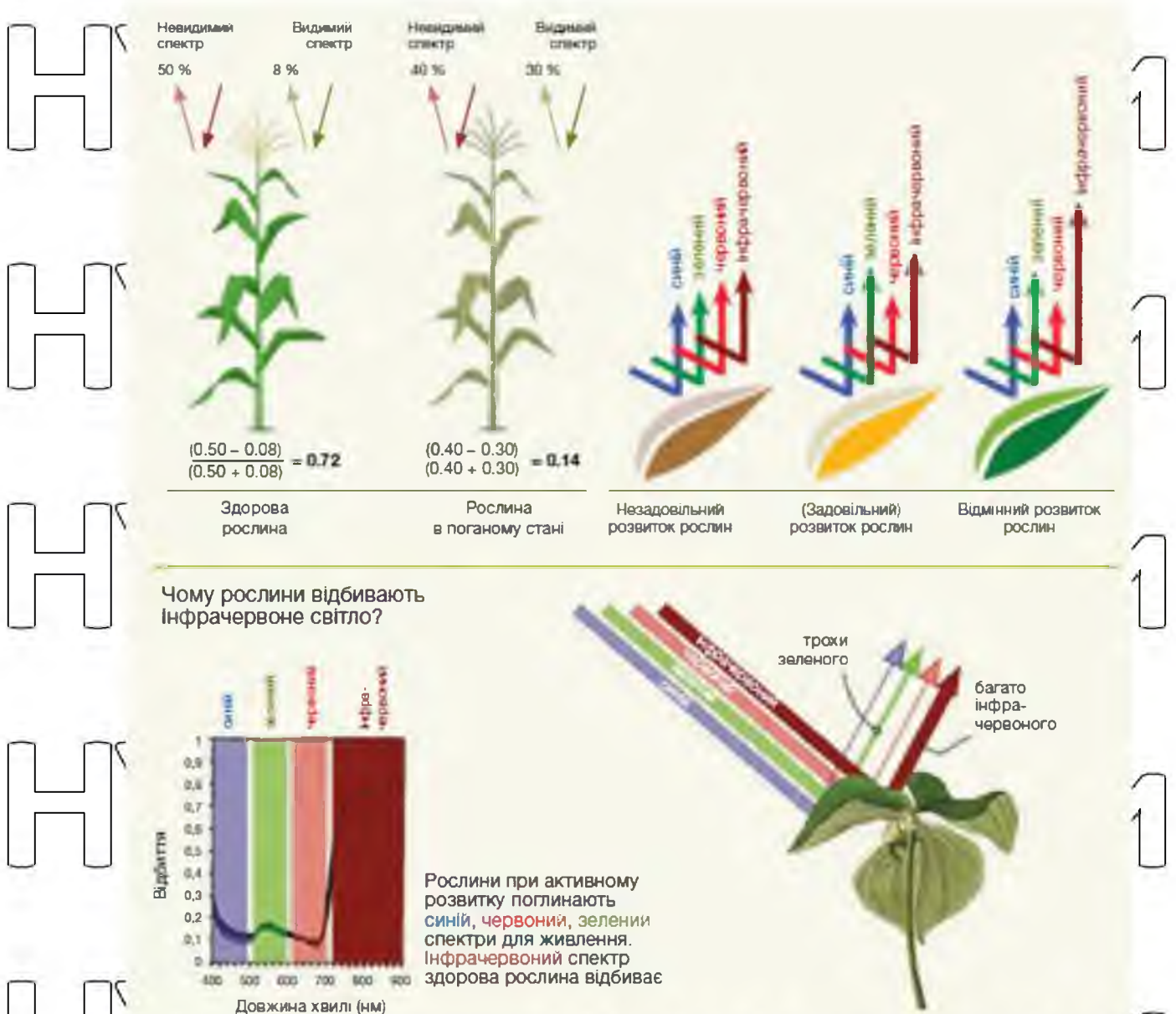


Рис. 1.3 Відносні величини спектрів відбиття залежно від стану рослин.

Джерело: побудовано автором на основі [68].

Через різницю поглинутого і відбитого спектрів обчислюються вегетаційні індекси, серед яких NDVI – один із найуспішніших, адже він допомагає просто й швидко ідентифікувати рослинні ділянки за їхній стан. Це найвідоміший показник, який використовують для ви

явлення живих зелених насаджень рослин у мультиспектральних даних дистанційного зондування

NDVI обчислюють на основі видимого і ближнього інфрачервоного світла, яке відбиває рослинність (рис. 1.3.) Здорова рослинність (лісноруч) поглинає

більшу частину видимого світла і відбиває велику частину ближнього інфрачервоного світла. Нездорова або зріджена рослинність (праворуч) більше відбиває видиме світло і менше – ближнє інфрачервоне світло. Цифри на рис. 13 репрезентативні для реальних значень, проте жива рослинність набагато різноманітніша.

Ми бачимо, що інтенсивно розвинута рослина для формування своєї біомаси поглинає червоний, зелений і блакитний спектри світла, тим часом більшість інфрачервоного відбивається. Саме на різниці між тим, що рослина поглинає і що відбиває, будуються різні вегетаційні індекси. Рослинний індекс

розраховується з використанням спектральних смуг, як правило, залежно від типу стресу рослин, які необхідно візуалізувати. У літературі існує багато різних індексів (наприклад, спеціальне сільськогосподарське програмне забезпечення Pix4Dfields пропонує індекси NDVI, VARI, TGI, SPI2, LCI, BNDVI, GNDVI), але

в реальній аграрній практиці використовують лише кілька. Кожен індекс має різні тлумачення, візуальні виходи і призначення. У спеціалізованих джерелах зафіксовано понад 80 різних індексів [44].

Наприклад, NDVI – це співвідношення невидимого (NIR) мінус значення червоного спектра та суми NIR і червоного. Цей індекс добре характеризує стан рослин в умовах, коли рослини вкривають майже всю поверхню землі.

Однак на початкових етапах розвитку або при зріджених посівах цей індекс має велику похибку, бо сприймає ґрунт як неживу рослину. У такому разі краще використовувати SAVI, який у формулі має коефіцієнти, що коригують показник розвитку залежно від площі покриття рослинами. Також можна застосовувати

індекс VARI, якщо немає можливості зняти показник невидимого спектра NIR. Варто ще раз наголосити, що всі основні індекси базуються на показниках чотирьох спектрів: червоного, голубого, зеленого і невидимого NIR. Можна використовувати різну довжину спектра, але всі вони належать до названих

чотирьох спектрів. Залежно від застосованої формули обчислення ми отримаємо різні індекси, які дають певну характеристику посіву. Вибрані поширені індекси і сфери їх використання наведено у Додатку А. В останній колонці один

фрагмент посіву представлено в різних індексах. З неї видно, що один посів на індексних картах може дещо відрізнитися у візуальному відображенні. Тому слід уважно ставитися до цілей і умов обстеження та правильно вибирати вимір залежно від того, що ви хочете дослідити і в яких умовах ви це робите.

Карта – це візуальний відбиток цифрових значень індексів відбиття. Вегетаційні індекси коливаються в діапазоні від 0 до 1. 0 – це майже чиста поверхня ґрунту і відсутність живої рослинності; 1 – найвищий показник розвитку рослин [58]. Цей діапазон розбивається на інтервали і кожному інтервалу присвоюється відповідний колір. Зазвичай беруть кольорову шкалу

Red–Yellow–Green, де відмінний і нормальний розвиток позначається зеленим, посередній – жовтим, а низький – червоним. Уважається, що показники вище за 0,55 показують найбільш задовільний стан, і що вище цей індекс, то кращий стан розвитку рослинного покриву. Слід зазначити, що всі індекси відносні, а їхнє значення залежить від типу культури, стадії росту культури та інших параметрів.

Залежно від цифрового значення в заданому діапазоні програма обробки даних підбирає відтінки відповідного кольору. При обльоті поля камера робить велику кількість знімків, кожен із яких фіксується в пам'яті з прив'язкою до GPS-координат. Потім, коли монтується карта, комп'ютерна програма переводить

кожне цифрове значення в колір і вставляє цей фрагмент у контур поля з прив'язкою до відповідних координат, де цей знімок зроблено. Зрозуміло, що при скануванні одного поля комп'ютер повинен переробити гігабайти інформації. І це один із найважливіших складників – мати добре програмне

забезпечення та обчислювальні потужності, які могли б правильно і швидко згенерувати карту обстеженого поля. Тому карта вегетації як кольорове зображення – це умовне візуальне відображення обчисленої цифрової інформації, яку зафіксували датчики мультиспектральної камери.

Для оцінки рослинності використовують діапазони видимих і ближнього інфрачервоного спектрів електромагнітного випромінювання. Початкові зображення може бути представлено як у сформованому форматі JPEG або GeoTIFF, так і в неопрацьованому процесором форматі RAW (менш поширений).

Файл формату RAW вимагає обробки стороннім програмним продуктом з урахуванням параметрів експонування і технічних особливостей запису даних із світлочутливої матриці. У більшості випадків системи, які використовуються для збору даних вегетації рослин, використовують уже оброблені формати зображень, які можна легко опрацювати в програмах геоінформаційних систем. Окремо під час підготовки зображень для аналізу даних рослинності слід враховувати параметри радіометричного калібрування, що дозволяє коригувати кінцеві результати відносно фактичного рівня освітленості в момент фіксації відбитого світлового потоку (рис. 1.4.). Це пов'язано з тим, що в сонячні і похмурі дні кількість зафіксованого відбитого світлового потоку буде різною, що може глибоко впливати на інтерпретацію отриманих даних.



Рис. 1.4. Індексні карти з радіометричним калібруванням (ліворуч) і без нього (праворуч) [58].

На цій карті (рис. 1.4.) ми бачимо ділянки з гарним і дуже гарним розвитком рослин (зелений і темно-зелений), а також на ній є ділянки із задовільним розвитком. Це темніше зелений або жовтий колір, то вищий показник вегетаційного індексу. І навпаки, що черво- ніше забарвлення, то нижчий показник вегетаційного індексу. Ми можемо визначити площу поля під кожним забарвленням (що відповідає площі з відповідним цифровим значенням) та координати, де ці ділянки на полі розташовано.

Отже, кожен відтінок кольору на індексній карті відтворює конкретну

цифру вегетаційного індексу, яка, своєю чергою, відбиває стан рослин у певній точці. Звичайно, що менший діаметр точки відображення даних, то точніше буде картування, адже кожна точка зйомки фіксує середній індекс розвитку рослин у межах усієї площі. Якщо, наприклад, камера робить знімок на один піксель 10 м, то ми одержуємо усереднений індекс розвитку рослин для площі 100 м², а при 2 см індекс відбиває середній стан рослин на площі лише 0,0004 м².

Нині є кілька інструментів для одержання вегетаційних індексів: супутниковий, за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) або наземними приладами. Найпоширеніший серед них – отримання супутникових даних. Сьогодні більшість компаній, які пропонують послуги супутникового моніторингу посівів, використовують широкий перелік супутників, які представлені в табл. 1.1.

На основі одержаних даних та з доповненням іншими (метеорологічні дані, контроль переміщення техніки за допомогою GPS, історії полів тощо) ці компанії пропонують різні послуги: карти зволоженості ґрунтів на основі інтерполяції отриманих із різних ресурсів показників, розрахунки різноманітних індексів, фронтенд, бекенд, архітектура сайту тощо.

Також супутники мають різний ступінь роздільної здатності. Наприклад, у Sentinel роздільна здатність одного пікселя 10 × 10 м, тобто він отримує усереднені дані зі 100 м², тоді як Demos-2 дає змогу отримати усереднені дані з 16 м², а Pleiades – з 4 м².

Піксель – це найменший елемент (точка) двовимірного цифрового зображення з визначеним кольором і розміром. Один піксель зберігає інформацію тільки про цей певний колір. Будь-яка фотографія, зокрема спектральна, складається з пікселів, а пікселі складаються з підпікселів, розташованих у певній послідовності.

Таблиця 1.1

Основні супутники, які використовують в аграрному секторі

Назва компанії	Супутник	Періодичність прольоту, дн.	Діапазони вимірювання	Розмір одного пікселя,	Ширина зони покриття	Запуск

European Space Agency	Sentinel-2A	2–5	R, G, B i NIR	10	210 км	23.06.2015
	Sentinel-2B		R, G, B i NIR			07.03.2017
NASA & USGS	Landsat 7	16	R, G, B, NIR i MIR	30	185 км	15.04.1999
	Landsat 8		R, G, B, NIR i SWIR			11.02.2013
NASA	Terra (EOS AM-1)	16	R, G, B, NIR i SWIR	15 i 30	60 км	18.12.1999
National Centre for Space Studies	SPOT-6	1–3	R, G, B i NIR	6	60 км	09.09.2012
	SPOT-7	1	R, G, B i NIR	20	100 км	30.06.2014
Deimos Imaging	Pleiades-1A					16.12.2011
	Pleiades-1B					02.12.2012
Planet Labs	Deimos-1	3	R, G i NIR	22	650 км	29.07.2009
	Deimos-2	4	R, G, B i NIR	4	12 км	19.06.2014
DigitalGlobe	RapidEye (BlackBridge)	1	R, G, B, NIR i Red-Edge	6,5	77 км	29.08.2008
DigitalGlobe	GeoEye-1	3	R, G, B та NIR	1,65	15 км	06.09.2008
	WorldView-2	1–4		1,84	16 км	08.10.2009
	WorldView-3	1–4	R, G, B, NIR i Red-Edge R, G, B, NIR, Red-Edge i SWIR	1,24 i 3,7	13 км	13.08.2014

Джерело: систематизовано автором.

Отже, якщо роздільна здатність камери 10×10 м, то в одному пікселі міститься узагальнена інформація про середній стан рослин на 100 м². А це може бути 50–60 тис. рослин пшениці або 400–600 рослин кукурудзи. Тобто ми маємо усереднену цифру вегетаційного (або іншого) індексу в одній точці з кількома тисячами або сотнями окремих рослин. Звичайно, таке умовне розмивання може давати узагальнену картину стану рослин і не дає змоги виявити невеликі зародки виникнення інфекцій, заселення шкідниками. Що більше рослин потрапляє в один піксель, то менш конкретна інформація. Для порівняння: роздільна здатність камери квадрокоптера 3–5 см, тобто інформація про стан однієї рослини міститься в одному або вже в кількох пікселях.

Ще одним важливим напрямком і прикладом використання сучасних інформаційних систем і технологій в аграрному бізнесі є використання дронів-обприскувачів в ресурсоощадних технологіях вирощування культур.

У 2015 році почалася четверта сільськогосподарська революція, пов'язана з використанням точного землеробства, велику роль у якій займають безпілотні

літальні апарати (БПЛА). Безпілотники змінюють обличчя глобального сільського господарства, надаючи величезні можливості для точного управління сільськогосподарськими ресурсами (добрива, засоби захисту) та природними ресурсами (грунт, вода).

Сьогодні агровиробникам через подорожчання засобів захисту рослин для обробки полів, добрив, палива, запчастин для техніки, сушки зерна, логістики, зниження рентабельності виробництва сільськогосподарської продукції варто звертати увагу на кожен елемент агротехнології, що дає змогу зменшити витрати

на вирощування культур. Пошук шляхів здешевлення елементів агротехнології

приводить до розгляду розширення використання дронів-обприскувачів у обробці полів для підвищення врожаю с/г культу та розробки сучасних ресурсозберігаючих дроноагротехнологій вирощування культур.

Існує багато обмежень, які спричиняють низьку урожайність сільськогосподарських культур, які можна подолати за допомогою технології дронів у сільському господарстві. Дрони не тільки екологічні і дозволяють скоротити кількість викидів вуглекислого газу, але вони також економічні у термінах часу та фінансових витрат. За останні 10 років відбулися суттєві зміни

в будові дронів, розробці датчиків для збору даних, сталися інновації в дронах-

обприскувачах для розпилення засобів захисту, впровадження глибокого навчання та штучного інтелекту (ШІ) в дистанційному моніторингу посівів. Застосування БПЛА у сільському господарстві зростає. Це пов'язано зі

зменшенням ваги, вартості БПЛА та збільшенням можливостей корисного

навантаження. БПЛА використовуються в основному для розпилення засобів

захисту або внесення добрив через їх високу вантажопідйомність. Дрони є кращим варіантом для точкового розпилення через більшу стабільність у польоті. Технології дронів постійно переходять від напівкерованих до повністю

автоматизованих систем завдяки прогресивним дослідженням вбудованих

систем, передачі й аналізу даних.

До теперішнього часу в різних частинах світу використовуються переважно звичайні методи застосування засобів захисту. Самохідний

обприскувач є найпоширенішим інструментом для звичайного застосування засобів захисту. Самохідне обприскування та ручне внесення засобів захисту впливає на людей і може призвести до таких захворювань, як рак, гіперчутливість, астма та інші розлади. Крім того, звичайні методи мають кілька

інших недоліків, таких як додаткове використання засобів захисту, дефіцит робочої сили, менша рівномірність розпилення, забруднення навколишнього середовища та гірше покриття поверхні. Ці звичайні методи зумовлюють вищу вартість застосування засобів захисту і меншу ефективність у контролі зі

шкідниками та хворобами. Для усунення цих недоліків використовуються

дрони-обприскувачі. Застосування в полі БПЛА покращує якість покриття, підвищує хімічну ефективність, полегшує та пришвидшує роботу з обприскуванням культур. Сьогодні дрон здатний перевозити до 40-літрів бака із

засобами захисту та слідувати заздалегідь прокладеним маршрутам для обприскування посівів відповідно до вимог. Безпілотники демонструють великий потенціал для покриття важкодоступних для тракторів та авіації полів.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2.

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ТА ТЕНДЕНЦІ ВИКОРИСТАННЯ
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В АГРОБІЗНЕСІ2.1. Аналіз використання вегетативних індексів і карт в управлінні
агробізнесом.

В попередньому розділі ми ознайомилися з цифровими методами вимірювання різних показників, які дуже важливі для агрономічної практики. І тут постає питання: а наскільки це полегшує роботу агронома, покращує її продуктивність? Як трактувати отримані дані?

На перший погляд може скластись уява, що на основі супутникових знімків або зйомки з дрона господарство отримає повну інформацію і про живлення, і про фітосанітарний стан посівів, і ще багато іншої. Спроби побудувати кореляційні моделі цифрових даних із певними вадами в полі існують, але вони поки що переважно нереалістичні. Головна помилка – певний індекс пов'язують кореляційно з одним елементом (наприклад, з браком азоту), на основі цього проводять аналіз і формулюють рекомендації. На практиці проблемою поганого розвитку рослин можуть бути хвороби, дефіцит мікроелементів, забур'яненість і ще безліч інших чинників. Визначити з дрона, а тим паче із супутника, чим хворіють рослини, які шкідники їх поїдають, які види бур'янів почали проростати, яких мікроелементів не вистачає рослині тощо, сьогодні неможливо. Тому, безперечно, прагматичнішою є інтеграція різних цифрових і традиційних методів для оптимізації обстеження посівів сільськогосподарських культур.

Зазвичай, щоб обстежити поле, агроном повинен пройти через усе поле, провести аналіз не менше, ніж у десятих точках, щоб отримати більш-менш статистично вірогідний результат. Для цього потрібно багато часу, не завжди це можливо зробити якісно (через погоду, високу щільність і висоту рослин, втрату

уваги дослідника тощо) або й узагалі неможливо провести дослідження. Так само нереальне завдання обстежити десятки полів швидко, бо рослини не можуть чекати. Хвороби (інфекційні чи ні) поширюються, бур'яни ростуть, елементи живлення потрібні тоді, коли йде активний розвиток. І як оцінити, яка частина поля потребує уваги, а яка ні? Наскільки велика проблема в конкретному посіві, щоб зважитися на додаткові витрати?

Частково відповісти на це можна, використовуючи саме супутникові індексні карти. На початковому етапі аналізують супутникові дані по всіх полях господарства, що дозволяє окреслити коло полів із підозрою на недостатній розвиток. Наступний крок – встановити координати ділянок із різним ступенем розвитку рослин на полі для детальнішого обстеження. Ці координати можна поставити на завдання безпілотному апарату для детальнішого обстеження як RGB-камерою, так і спектральною. У разі потреби в цих заданих точках проводять наземне обстеження.

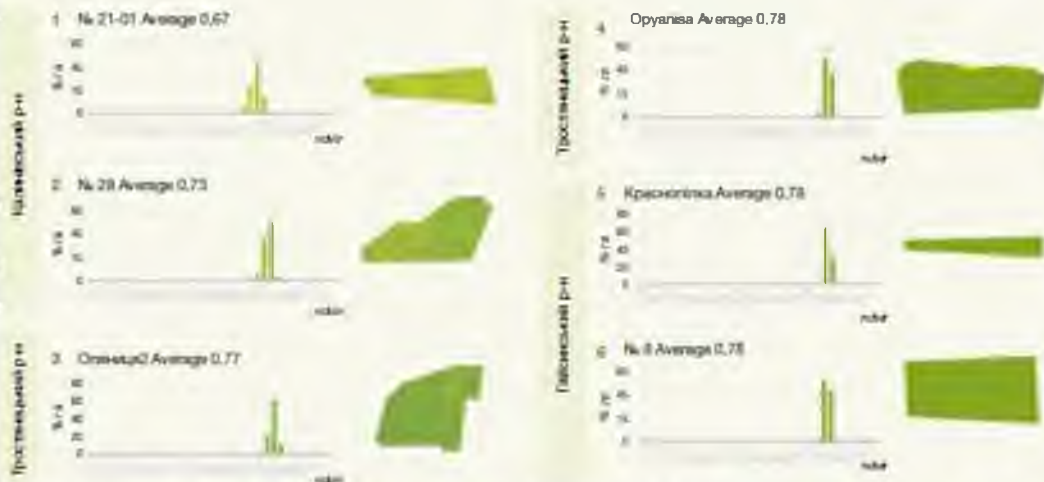
Схематично це відбувається так. Одержавши супутникові індексні карти розвитку рослин NDVI, ми із шести полів вибираємо для ретельнішого обстеження одне (№ 1) (рис. 2.1. а). Чому його? Бо на ньому низький рівень вегетаційного розвитку, в середньому менший за 0,5. У разі необхідності можна подивитися динаміку розвитку культури в різні періоди часу на картах з архіву.

Історія часто допомагає зрозуміти, на якому етапі розвитку виникла проблема. Наступний крок – детальне обстеження поля за допомогою дрона, у результаті якого одержуємо точнішу індексну карту з виразнішим зображенням проблемних зон розвитку рослин (рис. 2.1. б). На цій карті чітко окреслено ділянки з різним розвитком рослин. Отже, потрібно відзначити кілька точок на різних ділянках і провести там наземне дослідження: зробити візуальний огляд фітосанітарного стану, визначити брак елементів живлення та, ймовірно, підтоплення й інші чинники, які могли сприяти такому розвитку рослин. Це може

бути комплекс причин, як у цьому прикладі (рис. 2.1 в). Важливо отримати дані з різних однотипних ділянок, щоб підтвердити гіпотезу про причини гальмування процесів нормальної вегетації.

а) Супутникові карти полів господарства. Бачимо, що на полях 2–6 середнє значення NDVI перевищує показник 0,7, що свідчить про добрий розвиток рослин. На полі № 1 цей показник на рівні 0,47, що вказує на недостатній розвиток рослин на цьому полі

Порівняння полів за індексом NDVI



б) Проведено сканування поля № 1 за допомогою дрона і мультиспектральної камери. У результаті одержано детальну індексну карту. На ній можна побачити, що є ділянки з дуже поганим (червоні) та з посереднім (жовті) розвитком. Розвиток рослин на більшій частині поля не дуже добрий



в) Вибираємо точки в місцях із різним ступенем розвитку для проведення наземної оцінки. Виявлено нові хвилі бур'янів і падалиці соняшнику; ще в місцях із гіршим станом культури, згідно із супутниковими знімками, виявлено пожовтіння нижнього ярусу листя та некроз, які при візуальному огляді можна ідентифікувати як захисну реакцію сорту на ураження борошнистою росою. Щоб установити точний діагноз, рослини було відіслано в лабораторію. Також було проведено листову діагностику щодо дефіциту елементів живлення, виявлено брак таких елементів, як N, K, B, Mn, Fe

Рис. 2.1. Етапи моніторингу посівів у господарстві.

Джерело: систематизовано автором на основі [2, 6, 7, 32].

Якщо на різних точках, але в рамках одного діапазону вегетаційного індексу ми візуально фіксуємо типову картину, більш-менш однаковий рівень негативного чинника, первісна гіпотеза правильна, інакше треба шукати іншу причину.

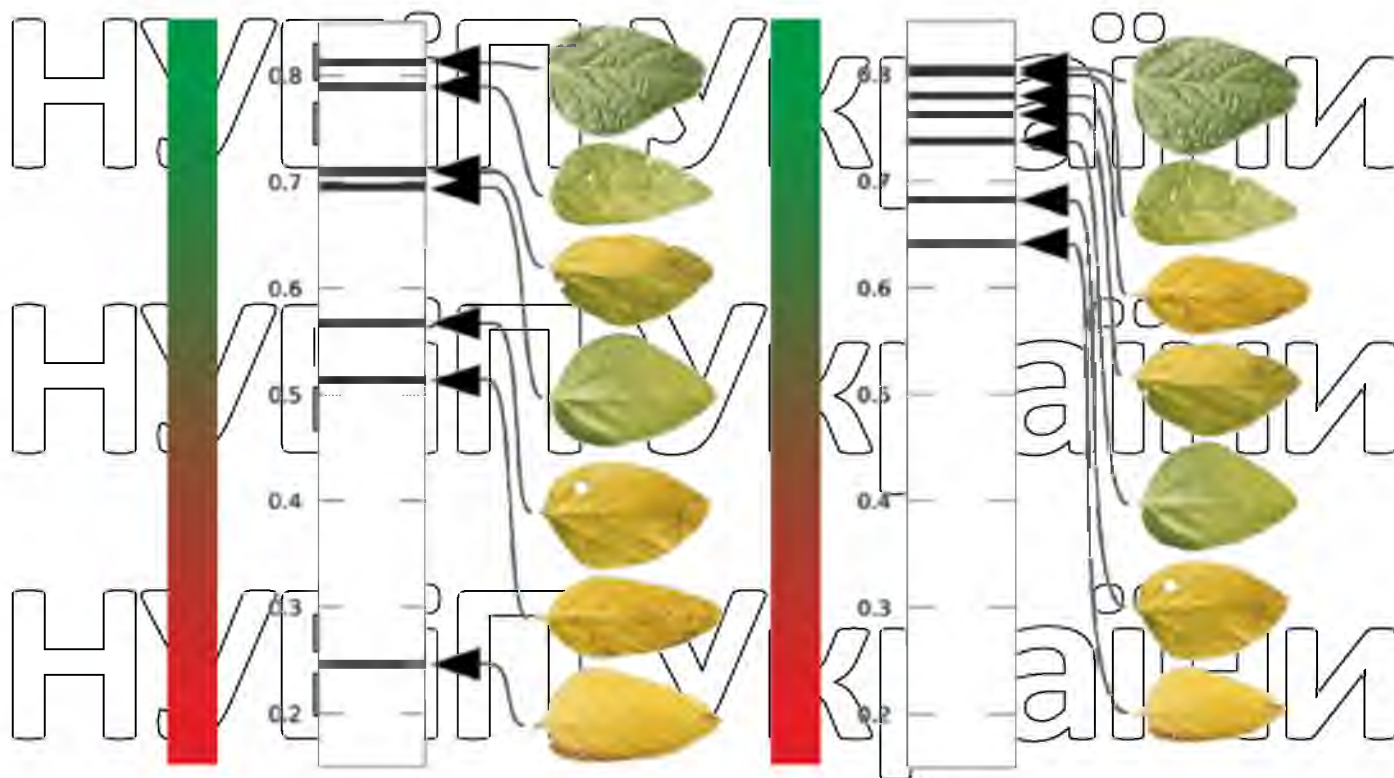
У роботі зазвичай використовуються три види індексів – NDVI, VARI, SAVI, які дозволяють порівняно повноцінно провести моніторинг посівів (табл. 2.1). Слід відзначити, що індекси визначаються на основі математичних розрахунків із кожним окремим спектром. Тому, щоб одержати максимально повну інформацію, краще використовувати камери, які можуть фіксувати кожен спектр окремо.

Таблиця 2.1

Цільове призначення індексів, використаних у польовому агромоніторингу при підготовці цих досліджень [44, 50]

Індекс	Значення
NDVI	Відносний індекс біомаси рослини. Найточніше показує стресові ділянки. Ефективний від 20% покриття поля рослинами
VARI	Рівень рослинного покриття, або індекс «зеленості» для оцінки сортів, гібридів, ефективності дії фунгіцидів
SAVI	Індекс рослинності з поправкою на ґрунт. Він кращий за NDVI, якщо рослинності на полі до 20% (озимі зернові, соняшник, кукурудза й інші на початкових етапах органогенезу)

Вони набагато дорожчі за камери, які видають один інтегрований NDVI, але дають змогу проводити аналіз у різних кольорах спектра, отримувати точнішу інформацію про стан посіву залежно від густоти рослин, стадій їх розвитку, про інтенсивність фотосинтезу, рівень вологи, біомаси та ще багато інших показників. Обробка даних з окремих спектрів вимагає також складнішого програмного забезпечення, однак дозволяє отримувати повнішу інформацію про стан рослин за багатьма показниками. При виборі індексу треба уважно стежити, у якому саме діапазоні спектра ви проводите аналіз. На рис. 2.2. показано порівняння вегетаційного індексу NDVI у різних кольорах спектра – червоному й блакитному. Що це означає?



NDVI

red

NDVI

blue

Рис. 2.2. Значення індексів відбиття приросляді в різних частинах спектра [44, 68].

У формулі (2.1), наприклад, значення спектра RED (червоний) замінено на величину BLU (блакитний).

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (2.1)$$

Як бачимо, розрахунки змінилися, один і той самий листок має різне значення. Якщо листок розвивався добре й був інтенсивно-зеленим, то в будь-якому кольорі показник високий. Однак при зміні кольору листка на менш зелений, при його в'яненні/старінні показники індексів під час аналізу в різних ділянках спектру суттєво відрізнялися. І саме аналіз у червоному спектрі дає найточніші дані про зміни. Тому для оцінки стану рослин використовують значення NDVI у червоному спектрі. Однак здорова рослина для формування своєї біомаси поглинає всі частини видимого спектра (Red-Green-Blue), а саме червоний, зелений і блакитний, тому їхня роль теж важлива в перебігу фізіологічних процесів. І якщо в розрахунок стандартного NDVI беруть значення

тільки червоної частини спектра, в інших можуть використовувати інші частки світлового потоку. Здебільшого стандартний (класичний) NDVI використовують для оцінки вегетаційної маси в період активного розвитку культурних рослин.

Водночас існує багато інших вегетаційних індексів, зокрема різні модифікації того ж NDVI. Якщо в загальноприйнятому варіанті використовують усю частину червоного спектра, то в інших підходах можуть використовувати якусь конкретну довжину хвилі – R680 або R677.

Розрахунки вегетаційних індексів базуються на різниці між тим, що рослина поглинає і що відбиває. І вже використовуючи математичні формули, у яких фігурують різні області видимого й невидимого (жовтого) спектру, ми отримуємо численні вегетаційні індекси.

Хоча індексів, які пропонують для застосування, чимало і кількість їх щороку зростає, на практиці застосовують далеко не всі. Найпоширеніші з них доступні в сучасних супутникових системах моніторингу посівів, як-от американська FarmShots або українська Cropio. Кожна з цих систем має свої пріоритети, тому вибирають ті індекси, які відповідають основним цілям і завданням. Нині різні компанії пропонують багато різноманітних супутникових систем моніторингу сільськогосподарських посівів, переважно усі вони дуже схожі. У табл. 2.2 наведено стислий огляд трьох популярних систем. Майже всі вони вираховують численні вегетаційні індекси.

Для агрономічного аналізу стану рослин ми рекомендуємо використовувати різні індекси, досліджувати стан поля в кількох варіантах індексів різного призначення (вегетаційного, стресу, водного, інтенсивності фотосинтезу тощо). Багато супутникових платформ (наприклад, FarmShots) дозволяють використовувати кілька індексів, перехід з одного на інший забирає лічені секунди – лише час на перемикання з однієї віртуальної кнопки на іншу.

Так дослідник має змогу оцінити стан посіву за різними критеріями і виявити проблемні зони. Ознакою таких зон може бути не тільки зменшення вегетаційної маси, а й інтенсивність фотосинтезу або стресовий стан унаслідок дисбалансу водного обміну тощо.

Так дослідник має змогу оцінити стан посіву за різними критеріями і виявити проблемні зони. Ознакою таких зон може бути не тільки зменшення вегетаційної маси, а й інтенсивність фотосинтезу або стресовий стан унаслідок дисбалансу водного обміну тощо.

Таблиця 2.2

Пропозиції для сільськогосподарського виробництва від різних супутникових систем

FarmShots	Cropio	SkyScout Assistant
Оцінка рослинності сільськогосподарських культур за 11 індексами, серед яких 4 основні NDVI, R/G/B та SAVI	Системи управління рухом транспорту (GPS), елементів та системи управління господарством	Оцінка посіву за NDVI, перегляд історії вегетації
Перегляд історичних даних про вегетацію, створення звітів із зазначенням проблемних зон	Оцінка посіву за NDVI, перегляд історії вегетації	Планування відвідування полів (скаутинг). Звіти за результатами огляду
Побудова гістограм вегетаційних індексів по окремих полях і культурах	Планування відвідування полів (скаутинг). Звіти за результатами огляду	Наявні погодні дані та історична довідка про погодні показники. Прогнозування появи хвороб і аграрні довідники
	Поточні й історичні погодні дані, прогнозування захворювань і врожайності	Рекомендації щодо оптимальних періодів внесення пестицидів. Елементи управління господарством

Джерело: систематизовано автором

Градації стану розвитку рослин незалежно від використовуваного вегетаційного індексу здебільшого близькі за величинами. Однак залежно від стадії розвитку рослин (ранні, середні чи пізні; сходи, вегетативний чи генеративний періоди розвитку) посіви слід оцінювати за різними індексами. Наприклад, для попереднього оцінювання можна використати середні градації з табл. 2.3. У період цвітіння величини вегетаційного індексу можуть знижуватися, хоча рослина активно розвивається. Тому що жовтий колір квітучих рослин спектральна камера сприймає як листок, що вмирає.

Різноманітні вегетаційні індекси дають агроному змогу оцінити стан посіву за багатьма параметрами: динаміка набору вегетативної маси, інтенсивність фотосинтезу, маса сухої речовини – оцінити стресові чинники, порушення водного балансу, характеристики різних пігментів та ін. Що більше дослідник зможе отримати показників, то більше матиме інформації про стан посівів. Тому слід аналізувати одне поле за кількома індексами, виявляти

проблемні зони, вивчати відповідь, що може спричинити погіршення цього параметра та планувати додаткові обстеження у визначених точках.

Таблиця 2.3

Стан розвитку рослин залежно від показників вегетаційних індексів [44]

Стан рослинності	Значення SAVI		Значення NDVI		Значення GNDVI	
	Ранні	Середні	Середні	Пізні	Пізні	Стадії
Відмінний розвиток	від 0,88 до 0,99		від 0,88 до 0,99		від 0,88 до 0,99	
Нормальний розвиток	від 0,68 до 0,85		від 0,68 до 0,85		від 0,68 до 0,85	
Посередній розвиток	від 0,52 до 0,65		від 0,52 до 0,65		від 0,52 до 0,65	
Поганий розвиток	нижче за 0,52		нижче за 0,52		нижче за 0,52	
Дуже поганий розвиток або відсутність живої рослинності	від 0,50 до 0		від 0,50 до 0		від 0,50 до 0	

2.2. Аналіз переваг використання супутників і дронів в управлінні агробізнесом.

Серед переваг супутникового моніторингу – можливість одразу охопити велику площу посівів. Немає потреби в спеціальних виїздах у поле – одержати індексні карти можна через інтернет в офісі. Надзвичайна перевага – можливість аналізувати поля в динаміці через обрані проміжки часу. Можна подивитися історію поля, як розвинулися рослини в рік посіву, на попередниках.

Серед вад – приблизне картографування проблемних зон, неможливість зіставити видимий і спектральні знімки. Ще майже неможливо отримати дані за хмарної погоди. У нашій практиці було кілька полів, які постійно були недоступні для супутника, бо щоразу в період його перебування над полем висіла хмара. З таблиці 2.4 можна побачити, що навесні в період, коли потрібен активний моніторинг, протягом двох місяців супутник пролітав над полями 19 – 20 разів, а доступно для детектування супутником було тільки п'ять днів спостереження; решту разів зняти показники заважали хмари або туман. Тобто дані отримували з періодичністю один раз на 10 – 14 днів, що замало, особливо для моніторингу фітосанітарного стану посівів.

Таблиця 2.4

Кількість днів доступу супутникового моніторингу до полів у різних регіонах України у вегетаційному сезоні 2021 року

Регіон	Кількість супутникових знімків по періодах вегетаційного сезону								
	Квітень-травень			Червень-серпень			Вересень-жовтень		
	загальна	небо без хмар	%	загальна	небо без хмар	%	загальна	небо без хмар	%
Захід	19	5	25	29	8	30	17	5	31
Південь	17	5	27	28	13	44	16	8	47
Північ	23	4	17	37	14	38	20	9	45
Схід	20	5	27	29	8	28	17	5	28
Центр	20	4	21	31	11	37	18	6	33

Джерело: складено автором на основі даних компанії Сингента.

В оцінці стану полів важлива точність. Виявлено суттєві відмінності в точності вимірювань при зйомці з дрона і із супутника (рис. 2.3) одного поля. вимірювання зроблено одночасно з двох різних показій.

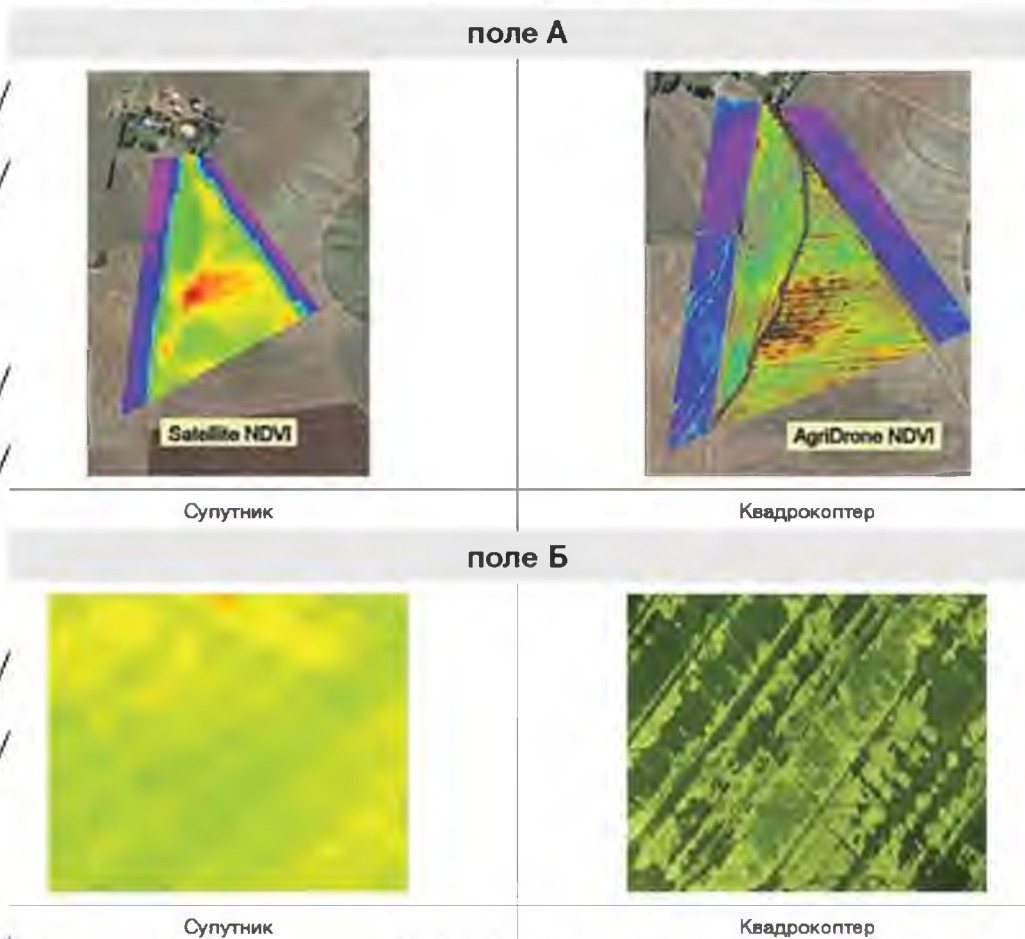


Рис. 2.3. Порівняння індексних карт двох різних полів (А, Б), побудованих згідно з даними із супутника й дрону [11].

Розмір зображення із супутника – понад 100 м² на піксель, тоді як детектування за допомогою дрона дозволяє визначати з точністю 0,0009 – 0,0025 м² на піксель. На практиці це означає, що один знімок робиться із супутника на площу діаметром 10 – 30 м, а з дрону кожен знімок охоплює тільки ділянку діаметром 2 – 5 см. Отже, знімки з камери дрону чіткіші, деталізовані, на відміну від супутникових. Варто додати, що в сучасних камерах на супутниках набагато вища роздільна здатність – менше як метр. Проте дані з цих камер дуже дорогі і масово в аграрному виробництві не використовуються. Якість і чіткість зображення при використанні БПЛА покращується десь у 1000 разів, тоді як за допомогою дрону можна обстежити за один виліт не більше як 100 га.

Одна з переваг при використанні БПЛА – можливість зробити зйомку на різних висотах із використанням як спектральної камери, так і звичайної RGB. Можна зробити вибіркові обстеження окремих ділянок. RGB-камера дає змогу обстежити поле візуально завдяки знімкам із високим рівнем роздільної здатності, зробленими з висоти 1 – 2 м. Це дає можливість оцінити стан посіву без маршрутного обстеження. Можна, наприклад, підрахувати щільність сходів бур'янів і навіть оцінити тип забур'яненості. Основні можливості, які дає використання супутникових систем і БПЛА, представлено в табл. 2.5.

Що стосується БПЛА, то використовують переважно два типи – квадрокоптери (дрони) або літаки (рис. 2.4.). На них може бути встановлено будь-які типи камер. У виборі серед квадрокоптерів і літаків визначальні цілі обстеження. Якщо планується спектральна зйомка без RGB-деталізації окремих ділянок, то літак – кращий вибір: вища швидкість, суттєво менший час обстеження. Проте при складній конфігурації поля ця перевага нівелюється. Тому літак має переваги при обстеженні довгих, але не широких полів.

Крім того, при цьому втрачається можливість детально оглянути окремі ділянки, над якими коптер може просто зависнути на будь-якій заданій пілотом висоті. Можливості літака тут обмежені. Взагалі, досвід свідчить, що для фітомоніторингу посівів квадрокоптер – набагато вигідніший варіант.

Порівняння можливостей для моніторингу посівів за допомогою супутника і БПЛА

Характеристики	БПЛА	Супутник
Чіткість картографування	Набагато вища, зображення з роздільною здатністю 2–5 см на піксель	У більшості випадків дані розмиті через посередню роздільну здатність – понад 10 м на піксель
Залежність від погоди	Залежить від вітру, перешкоджають опади. Водночас хмарна погода не заважає картографуванню	Сильно залежить від хмар, туманів
Діагностичні можливості	Набагато більші. Є можливість поєднувати зйомку мультиспектральною камерою і звичайною. Є можливість робити це на різних висотах до 0,5–1 м від поверхні об'єкта. У дослідника є можливість провести спектральний і візуальний облік	Для роботи використовують переважно мультиспектральну камеру. Зйомка робиться з великої висоти, що не дає змоги отримати детальну інформацію по ділянках поля
Періодичність зйомки	Можна робити в будь-який час	Тільки в періоди, зумовлені орбітою супутника
Продуктивність	Невисока, протягом години можна обстежити 50–100 га залежно від вибраної висоти. Перед польотом багато часу вимагає розробка польотного завдання. Можливі збої в обробці даних при зшиванні карти через погане перекриття або порушення роботи навігації (як обладнання, так і програмного забезпечення)	Висока. З певною періодичністю (5–10 днів) супутник пролітає над земельними угіддями будь-якого господарства
Історичні дані	Можна зберігати тільки той матеріал, який відзнято. Відсутня чітка періодичність, тому історичні дані несистемні	Є змога подивитися історію поля за кілька років
Кількість індексів	Може отримати будь-які індекси, передбачені програмним забезпеченням	Може отримати будь-які індекси, передбачені програмним забезпеченням
Обробка даних	Потребує часу залежно від програмного забезпечення. На обробку одного поля може знадобитися від кількох годин до доби й більше. Треба мати спеціальні програми обробки даних. При розробці програмного забезпечення можна встановити розрахунки більшості необхідних для дослідника індексів. Є можливість побудувати гнучку систему аналізу даних, змінювати її в процесі роботи	Компанії, які пропонують супутниковий моніторинг, дають клієнтам оброблені дані практично онлайн після польоту над територією. Є можливість подивитися поля в минулі періоди, порівняти дані. Також часто можна крім спектральних карт, одержати додаткові дані (погода, стан вологозабезпеченості, температура тощо). Проте споживач отримує тільки ті індекси, які пропонує компанія, а це може бути й один, чого не завжди достатньо для аналізу стану посіву. Водночас якщо їх кілька, є можливість швидко переходити до різних видів індексних карт

Джерело: систематизовано автором [14, 16, 22, 39].



Рис. 2.4. Типи БНЛА – типу літак і квадрокоптер або дрон [5].

Спектральні камери відрізняються так само, як дзеркальний фотоапарат і «мильниця». Наприклад, камери на Mavic Survey3N і W відрізняються кутом огляду (AOV) і здатністю поділяти спектри на різні знімки, що дуже обмежує широту можливостей розрахунку індексів. Водночас це бюджетний варіант, який до того ж визначає вже готовий NDVI. Коштує камера десь удесятеро дешевше, ніж, наприклад, Parrot Sequoia. Тому для звичайних обстежень її параметрів цілком достатньо (рис. 2.5.; таблиця 2.6).



Рис. 2.5. Приклади спектральних камер, що використовуються компанією Сингента.

Джерело: систематизовано автором.

Таблиця 2.6

Повищені типи оптичних приладів, що використовуються в дослідженнях в компанії Снігента

Тип оптичного пристрою	Модель камери	Роздільна здатність	БПЛА	Опис камери
Visible Light (RGB)	FC6310S	20MP	DJI Phantom 4 Pro/Adv	Візуальна камера, яка фіксує видимі спектри Red+Green+Blue та зберігає зображення у форматах JPEG, TIFF. Роздільна здатність залежить від моделі камери
	Zenmuse X3	12,4MP	DJI Matrice 100	
	Zenmuse P1	45MP	DJI Matrice 300	
	Hasselblad L1D-20c	20MP	DJI Mavic 2 Pro	
Multispectral+ RGB	Mapir Survey3 (модифікації NiW)	8MP Spectral 12MP Visible	Будь-який	Залежно від моделі камери доступні різні діапазони: Red+Green+NIR, NIR+Green+Blue, Orange+Cyan+NIR, RedEdge, Visible Light (RGB), Near Infrared (NIR)
	Parrot Sequoia+	4×1,2MP Spectral 16MP Visible	Будь-який	Найменша легка мультиспектральна камера для зйомки в чотирьох каліброваних зонах спектра Green+Red+RedEdge+NIR
	FC6360	6×2MP	DJI Phantom 4 Multispectral	Новітня мультиспектральна камера, яка поєднує візуальний і п'ять спектральних сенсорів із такими каналами: RGB, синій, зелений, червоний, червоний-край та ближній інфрачервоний. Реалізована можливість оцінювати вегетацію під час польоту. Усе управління польотом і камерою забезпечує одна програма
	Sony MSZ-2100G	2MP Spectral 12MP Visible	Будь-який	Спеціалізована камера, яка дає можливість обробляти знімки у швидкому режимі (QuickTilling) в програмі Sony Fast Field Analyzer та зберігає знімки у форматі RAW (необроблені дані з сенсора)

Джерело: систематизовано автором.

Дрони-обприскувачі поступово витісняють самохідні обприскувачі у обробці полів через цілу низьку важливих переваг, які дозволяють зменшувати витрати на вирощування культур та підвищувати урожайність. Використання самохідних обприскувачів при внесенні інсектицидів на кукурудзі від стеблового метелика, фунгіцидів, інсектицидів і десікантів на соняшнику, ріпаку і інших високорослих культурах є наразі малоефективним через витоптування колесами значної кількості рослин (5-10 % або наприклад 0,5 т/га зерна кукурудзи), що дорівнює або перевищує той поріг, що може нанести шкоди сам шкідник.

Дрону-обприскувачу немає рівних при обробці високорослих рослин інсектицидами і фунгіцидами від хвороб і шкідників. При внесенні дроном-обприскувачем препаратів не утворюються технологічні колії, на долю яких припадає 5-10 % поля чи урожаю. Це приблизно на 5 тис га землі приходить 500 га технологічних колій, культура на цій площі просто витоптується. При урожайності 3 т/га насіння соняшнику і вартості 1 тони насіння 15700 грн, виходить недоотримання 1500 т насіння з 500 га вартістю 23 550 000 грн, або 588 750 \$ (курс 40 грн/1\$). Дрон-обприскувач XAG V40 без додаткового устаткування коштує \$8200 (327 999 грн) при курсі 40 грн/1\$, а самохідний обприскувач має ціну на рівні \$230-250 тис. По вартості дрон-обприскувач XAG V40 коштує в 30 раз дешевше, ніж самохідний обприскувач. По ціні 1 самохідного обприскувача можна купити приблизно 30 дронів-обприскувачів XAG V40.

По нормі виробітку обприскування дрон-обприскувач XAG V40 дорівнюється самохідному обприскувачу. За 8 годин роботи (за 1 зміну) дрон-обприскувач XAG V40, як і самохідний обприскувач, може обробити 100-200 га поля, а за 1 годину 12,5-25 га посіву. Тобто 1 дрон-обприскувач XAG V40 з однаковою швидкістю, як і самохідний обприскувач, виконує роботу на полі та може його замінити, але кошту приблизно в 30 разів дешевше, ніж самохідний обприскувач.

Покупку дрона-обприскувача і його використання можна окупати за 1 рік тільки за рахунок відсутності технологічних колій на площі соняшнику 70 га, не

беручи до уваги інші моменти, такі як переваги в обприскуванні схилів або важкодоступних місць, економії води на 95%, палива на 90%, засобів захисту на 30%, проведення робіт у полі після опадів без простоїв, відсутності ущільнення ґрунту колесами агрегатів, а також зменшення шкоди пестицидів на людей і навколишнє середовище під час процесу застосування засобів захисту рослин.

Для внесення сучасним дроном-обприскувачем засобів захисту на 1 га потрібно біля 5-10 л робочого розчину, що забезпечує економію у підвозі води на 95% і більше. Ультрамалооб'ємний розмір капель розчину та внесення засобів захисту з точністю до 2 см підвищує на 30% економію препарату. Зменшується

використання пального в 20 разів у порівнянні з самохідним обприскувачем. Робота дроном-обприскувачем у полі відбувається без простоїв, особливо після опадів, коли самохідний обприскувач працювати не може. До БПЛА, навпаки, вологі рослини і ґрунт після опадів покращує дію, поглинання і розчинність

концентрованого робочого розчину. За добу одна мобільна бригада з дронами може переміститися на 1000 км. Продуктивність однієї зміни з двома дронами-обприскувачами 200-400 га.

Застосування БПЛА знижує викиди парникових газів і покращує клімат чотирма істотними способами: збереженням землі, підвищенням ефективності засобів захисту, застосуванням при посіві покривних культур і використанням технологій точного землеробства. Технологія застосування БПЛА в сільськогосподарському секторі зменшує викиди вуглецю від аграрної діяльності.

2.3. Використання сучасних інформаційних систем компанією

Сингента для вирішення стратегічних завдань управління агробізнесом.

Розглянемо алгоритми використання цифрових методів обстеження для окремих цілей. Наведемо кілька реальних кейсів використання цифрового

моніторингу компанією Сингента для вирішення різних завдань. Широта застосування цих технологій в агрономічній практиці тим не вичерпується, проте кейси дають можливість на прикладі реальних ситуацій побачити, як це застосовувалося, та знайти місце використання в конкретних ситуаціях у своїх господарствах.

Вибрані приклади практичного застосування цифрових методів у роботі компанії Сингента, дадуть змогу краще зрозуміти, як нові підходи можуть бути корисними для моніторингу посівів, як за допомогою цих методів можна підвищити ефективність аграрного виробництва. Наведені приклади можуть стати основою для вирішення інших питань, які виникають у процесі

виробництва сільськогосподарської продукції.

Світ цифрового рослинництва стрімко розвивається. В даному дослідженні основний фокус зроблено на прикладні аспекти використання цифрових технологій саме у рослинництві. Зокрема нами обрано п'ять найактуальніших напрямів застосування інформаційних технологій (рис. 2.6.)



Рис. 2.6. Напрями використання інформаційних технологій компанією Сингента в роботі з агровиробниками.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

1. Аналіз характеристик ґрунту. Щільність ґрунту – це маса одиниці об'єму абсолютного сухого ґрунту з природною вологістю і не порушеним станом [13, 28]

Від щільності ґрунту залежать усі ґрунтові режими: повітрообмін, водопроникибельність, вологоємність, теплоємність, мікробіологічні й окисно-відновні процеси. Цей показник впливає на технологічні властивості, якість обробітку ґрунту. Усе перераховане позначається на величині і якості врожаю.

При пухкій будові орного шару виникають умови для підвищеного витрачання вологи на випаровування, а при щільній – несприятливі для розвитку коріння рослин.

Частим явищем стало ущільнення ґрунту на глибині 10–20 см, тому коренева система соняшнику не заглиблюється. Як наслідок, рослина більше

потерпає від браку вологи, схильна до вилягання, суттєво знижується врожайність.

Крім згаданих наслідків, висока щільність ґрунту може спричинити пошкодження того ж таки соняшнику ґрунтовими гербіцидами. Зазвичай

ґрунтові гербіциди не впливають на сходи культури. Проте сім'ядольні і справжні листки чутливі до дії низки компонентів ґрунтового гербіциду. І коли внаслідок інтенсивних опадів вода не проникає швидко вглиб ґрунту, а накопичується на поверхні, діючі речовини гербіциду вимиваються з поверхні

ґрунту і рослина із сім'ядольними/справжніми листками занурюється в розчин препарату, що призводить до хімічного пошкодження листків, а при повному зануренні рослина гине.

Картографування щільності поля можна провести, використовуючи пенетрометр і спеціальну програму обробки даних. Алгоритм цієї роботи такий.

Спочатку визначаємо контури поля і формуємо точки збору інформації. Це автоматично виконує програмне забезпечення. У цьому прикладі використали програму Datafield. Спеціаліст отримує план відбору проб. Він проходить по цих точках і знімає показники щільності. Процес неважкий. Треба в точці повільно

занурювати щуп у ґрунт. Прилад автоматично знімає показники щільності на різній глибині і через GPS транслює дані для обробки. Після проходження всіх точок дослідник отримує карту щільності ґрунту на різних глибинах (рис. 27).



Рис. 27. Вплив щільності ґрунту на пошкодження рослин ґрунтовими гербицидами в господарстві Вінницької області, 2022 рік.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

Чітко видно високий рівень пошкодження соняшнику ґрунтовими гербицидами внаслідок злив на полі 1 порівняно з полем 2. Однак і щільність ґрунту на полі 1 більше як удвічі вища, ніж на полі 2. Уже з глибини 5 см спостерігається така закономірність. На полі 2 щільність на глибині 5–10 см була

248–292 кПа, а на полі 1 – 479–784 кПа. Наслідки вимивання гербициду очевидні. Ділянки, де вода не просочилася в ґрунт, перебувають на поверхні довгий час, тому гербицид вимивається, а це призводить до пошкодження і загибелі рослин.

На полі 2 за тих самих умов рослини успішно розвиваються. Управлінське рішення прийняте на основі аналізу щільності ґрунту – поле 1 потрібно передискувати і пересіяти. Ось чому важливо мати карту ущільнення ґрунту поля ще в період проведення ґрунтообробних робіт.

Щоб уникнути виникнення плужної підшви й запобігти негативним наслідкам при вирощуванні соняшнику, пов'язаних з ущільненням ґрунту, компанія Сингеїта обстежила поле в Луганській області за допомогою пенетрометра і програмного забезпечення. На основі точкових замірів щільності ґрунту на різних глибинах було побудовано інтерактивну карту щільності ґрунту цього поля (рис. 2.8).

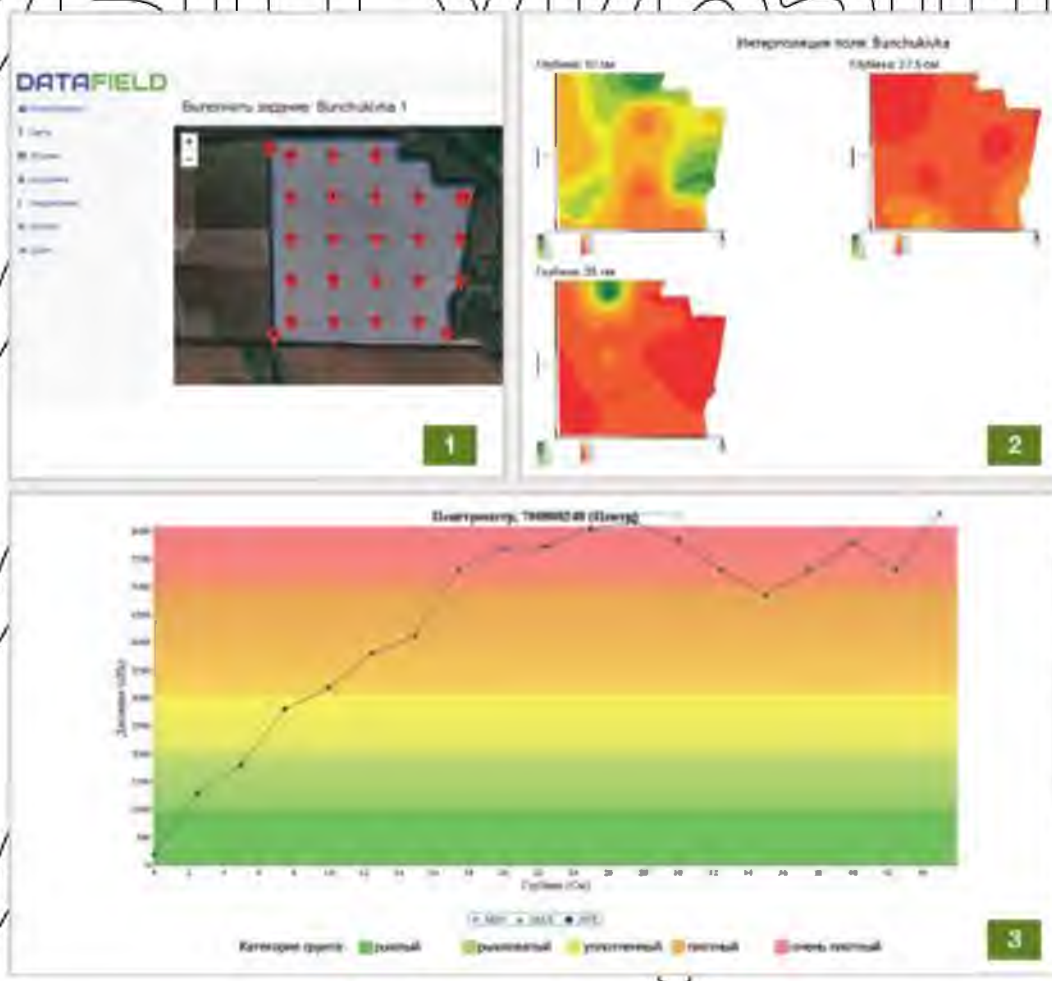


Рис. 2.8. Карты щільності різних шарів ґрунту поля, яке готується під посів соняшнику в господарстві Луганської області, 2021 рік.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингеїта. На цьому полі вже видно ділянки з підвищеною щільністю ґрунту, особливо на глибині посіву і проростання насіння. Нижня діаграма показує, що в більшості точок обстеження ґрунт у шарі активного росту (2–20 см) має ущільнену або щільну консистенцію. Тому зрозуміло, що для запобігання негативним наслідкам треба вжити агротехнічних заходів, наприклад провести цілювання, щоб вода могла швидко переходити в глибші горизонти ґрунту. Це

не тільки зменшить ризик пошкодження ґрунтовими гербіцидами проростків соняшнику в період злив, а й сприятиме накопиченню продуктивної вологи та покращить перебіг усіх пов'язаних із диханням процесів у ґрунті.

Ще один прилад зі сфери цифрових технологій – сканер ґрунту SoilCare (рис. 2.9.), який пропонують голландські інженери. Для аналізу відбираються проби ґрунту в кількох місцях на полі, кожна проба сканується, а дані автоматично через телефонний додаток надходять в обчислювальний центр, де на основі бази даних по ґрунтах і на підставі показників сканування протягом п'яти хвилин ідентифікуються важливі характеристики цих зразків / цього поля, як-то вміст NPK, рН та кількість органічної речовини. Принцип роботи цього приладу базується на аналізі спектрального зображення ґрунту спеціально розробленою програмою. На основі спектрального відбиття і багатьох регресійних моделей програма створює цифрові передбачення, які після узгодження з базою даних передаються агрономові як показники якості ґрунту.

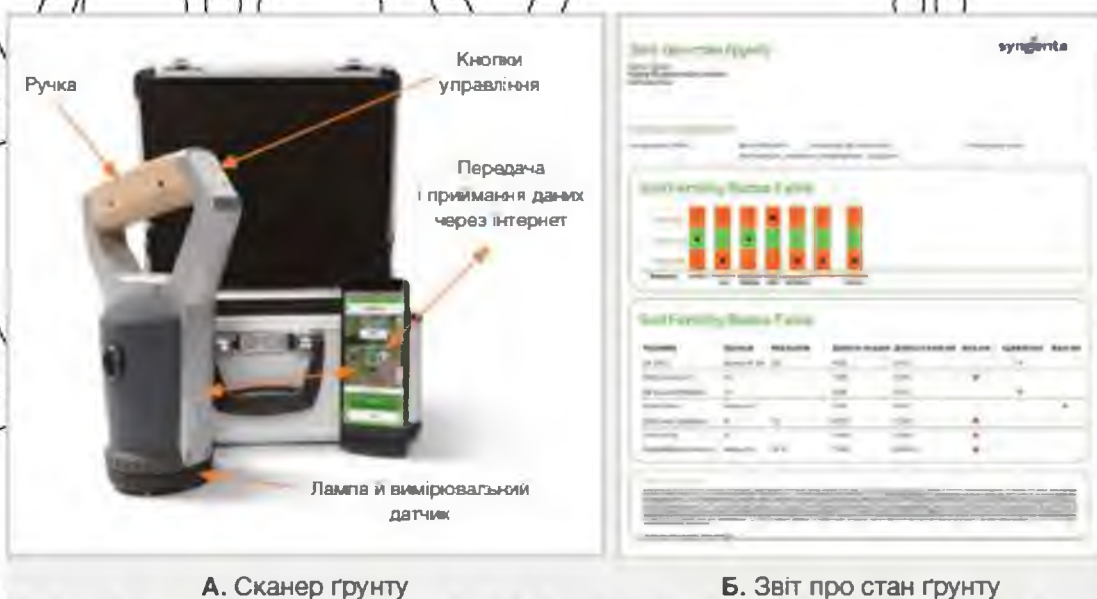


Рис. 2.9. Прилад SoilCare та результати визначення вмісту основних елементів живлення зразка ґрунту.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

При розробці регресійних моделей беруть до уваги аналіз зразків традиційним методом, тип ґрунту в регіонах, супутникові знімки, клімат, рельєф, види сільськогосподарських культур тощо. Основний принцип полягає в

побудові кореляційних моделей, як і для основної маси інших непрямих методів вимірювання агрономічних показників. Практика показує, що ці моделі досить точні, а показники, обчислені за цими моделями, прийнятні для первинної й експресної оцінки ситуації на полі.

2. Моніторинг бур'янів. Здебільшого компанія Сингента спостерігає неоднорідність забур'яненості посівів на полі. Зазвичай бур'яни нерівномірно розподіляються по полю, утворюють різноманітні комбінації за чисельністю і видовим складом на різних ділянках поля. Можна відзначити, що для бур'янистої рослинності характерний агрегований і осередковий розподіл, що їх статистично описують індекси агрегації й агломерації (наприклад, індекси Петчинга (Patchiness-Index, або Lloyd's Index of Patchiness), або Гріна (Green Index)) [44]. Це, безумовно, ускладнює моніторинг забур'яненості на великих за площею полях. При маршрутному обстеженні потрібно багато часу, щоб скласти загальне уявлення про рівень забур'яненості. Проте майже неможливо оцінити і знайти всі, навіть великі осередки небажаної рослинності на масиві поля.

У такому випадку в нагоді стане аналіз спектральних карт, отриманих із супутника чи за допомогою дрона. Ця методологія працює для широкорядних (кукурудза, соняшник, соя й інші) культур на початку їхньої вегетації. У початковий період росту вегетаційний індекс NDVI не може бути великим і перебуває в інтервалах до $< 0,3$. Чорна земля – основний фон від початку росту, отже, індекс наближається до 0. Тому коли ми, навпаки, бачимо на спектральній карті високі показники вегетаційного індексу, це означає, що у певних видів рослин суттєво зріс цей показник. Це і є бур'яни. Яскравий приклад бачимо на рис. 2.10. Кукурудза на полі у фазі проростання (теоретично вегетаційний індекс має бути біля 0) показує досить високий рівень NDVI – 0,3–0,4. Таку величину йому забезпечила «ковдра» небажаної рослинності. Фахівці Сингенти рекомендували господарству терміново внести гербіцид, що й було зроблено.

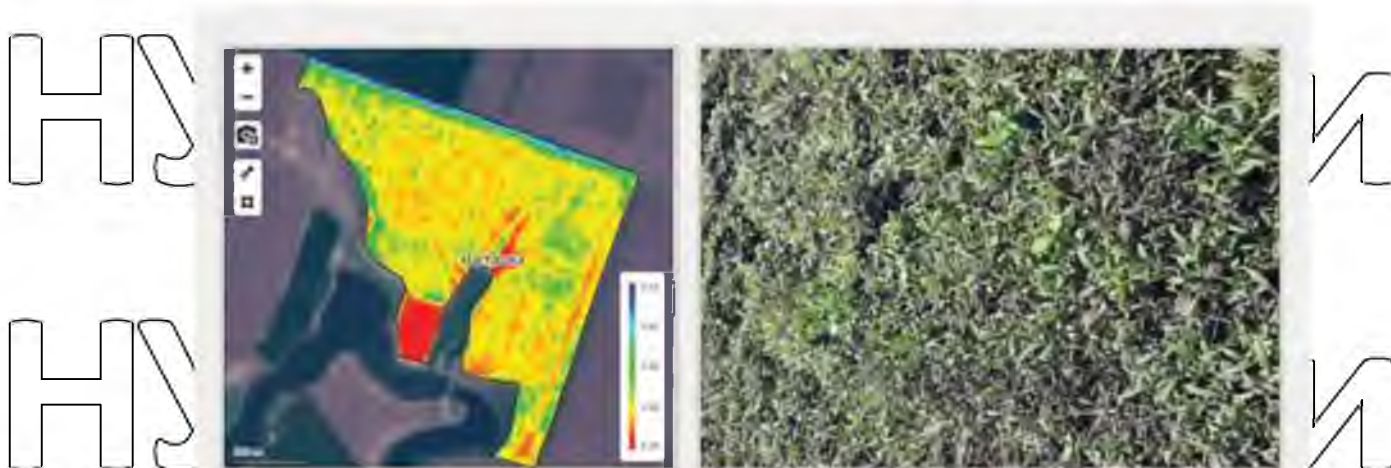


Рис. 2.10. Індексна карта і загальний вигляд поля сходів кукурудзи, уражених бур'янами у господарстві Київської області, 2021 рік.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

Через тиждень картина на полі суттєво змінилася. Значення вегетаційного індексу різко впало – нижче за 0,25 (рис. 2.11.), що свідчить про високу ефективність гербіциду. Бур'яни, які й були джерелом підвищеного рівня NDVI, були знищені або перебували на стадії відмирання.

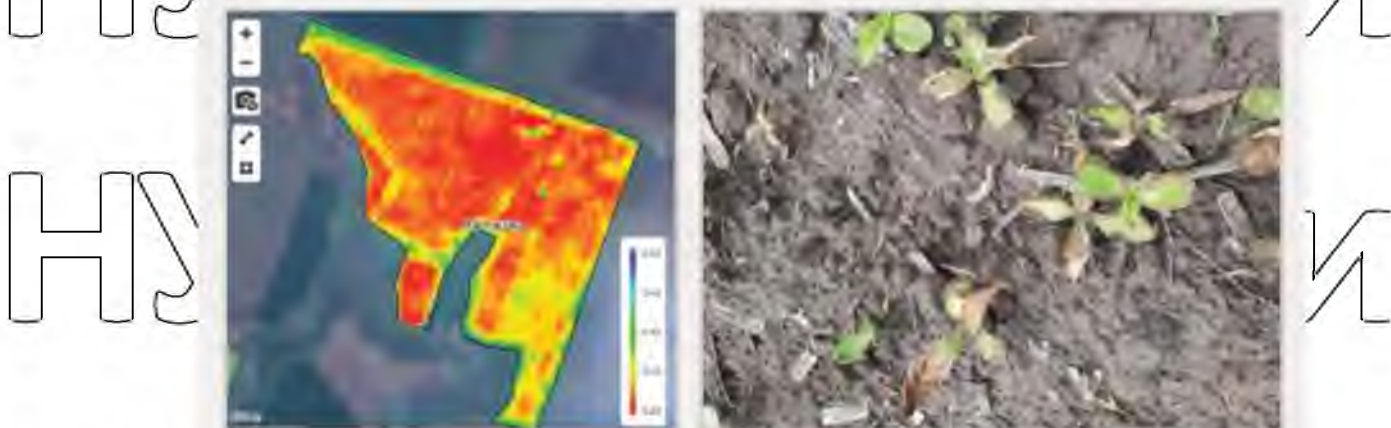


Рис. 2.11. Індексна карта і загальний вигляд поля сходів кукурудзи після внесення гербіциду. Київська область, 2021 рік.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

Водночас через тиждень після внесення ми бачимо на полі осередки з підвищеним показником, які потребують ретельнішого обстеження. Або ж це осередки стійких до дії цього гербіциду видів бур'янів і тоді там треба доопрацювати іншим гербіцидом. Проте це невеликі площі, які не вимагають

великих витрат, ці осередки можна легко знайти. Ще може бути, що гербіцид із різних причин діє в цих місцях повільніше (помилка при обробці, перерослі рослини тощо). Тому, ці ділянки потребують додаткового візуального обстеження.

Важливий момент при обстеженні на забур'яненість – виявлення видового складу небажаної рослинності та її щільності. Це важливо для вибору гербіциду, визначення норм витрат, підбору композицій препаратів. Спроби дистанційно діагностувати види з використанням штучного інтелекту досі демонструють

велику похибку. Порівняно точно можна оцінити співвідношення маси культури

до маси бур'янів, проте встановлення видового складу в такий спосіб – це справа майбутнього. Використання штучного інтелекту базується на машинному навчанні і вимагає можливості швидко обробляти великі масиви даних. Треба

додати, що існують чималі відмінності не тільки між видами рослин, а й у межах

одного виду рослини на різних фазах розвитку. Крім змін унаслідок росту

рослин, важлива різниця в освітленні листя залежно від умов середовища, кута нахилу стебла, популяційні відмінності залежно від зони проростання та багатьох інших.

Проте спростити і зробити обстеження ефективнішими можливо. Для

цього існує квадрокоптер з RGB-камерою. Провівши зйомку і зшивку ортофотоплану поля, спеціаліст може виявити осередки забур'яненості, потім збільшити формат зображення і проаналізувати видовий склад та щільність

бур'янів (рис. 2.12.). Зі сформованим ортофотопланом агроном легко побачить

загальну картину забур'яненості посіву, визначить найпроблемніші місця й

ухвалить рішення про повну обробку поля (рис. 2.12.а) або його окремих осередків (рис. 2.12.б).

Традиційно обстеження забур'яненості поля проводять так. Треба пройти

по двох діагоналях поля, вибрати на них більше як 10 (залежно від площі поля)

облікових ділянок $0,5 \times 0,5$ м, підрахувати кількість небажаної рослинності за

видами і потім визначити середню забур'яненість.

У випадку застосування цифрових технологій потреби ходити по полю

немає. Можна на загальному ортофотоплані виділити точки обліку, рівномірно розмістивши їх по тих самих діагоналях поля. Потім на екрані намалювати віртуальну рамку і порахувати кількість рослин у рамці (рис. 2.12.в). Тут у рамці нараховано понад 50 шт./м². І так далі по всіх точках. Потім вираховуємо середню забур'яненість поля. Обстеження можна зробити швидше і комфортніше за допомогою дрона, оснащеного звичайною RGB-камерою. Так само на екрані можна збільшити масштаб точки обліку і візуально визначити домінантні види (рис. 2.12.г).



Рис. 2.12. Облік забур'яненості поля з посівом кукурудзи в господарстві Кіровоградської області, 2021 рік.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

На фотографії добре видно, що домінантний вид *Matricaria spp.*, який становить 90 % усіх видів бур'янів. Ще видно падалицю соняшнику. Звичайно, для цих завдань бажано мати на дроні камеру з високою роздільною здатністю і програму для побудови ортофотоплану. Так можна оперативніше обстежити поле навіть у період, коли пройти по ньому неможливо, наприклад після опадів. Застосування методів машинного навчання і штучного інтелекту вже в

найближчому майбутньому дозволять автоматизувати процес підрахунку бур'янів та відрізняти основну культуру від інших рослин. А ось визначення видів бур'янів штучним інтелектом, мабуть, поки у віддаленій перспективі.

Ще один приклад – обстеження поля з посівом ріпаку з використанням ортофотоплану RGB-камерою і спектральної карти. На спектральній карті бачимо, що в частини поля низький вегетаційний індекс (в межах 0,1). Здавалося б це найпевніше ділянки з дуже зрідженим посівом (рис. 2.13). Проте на звичайних знімках вони, хоч як це дивно, дуже забур'янені.

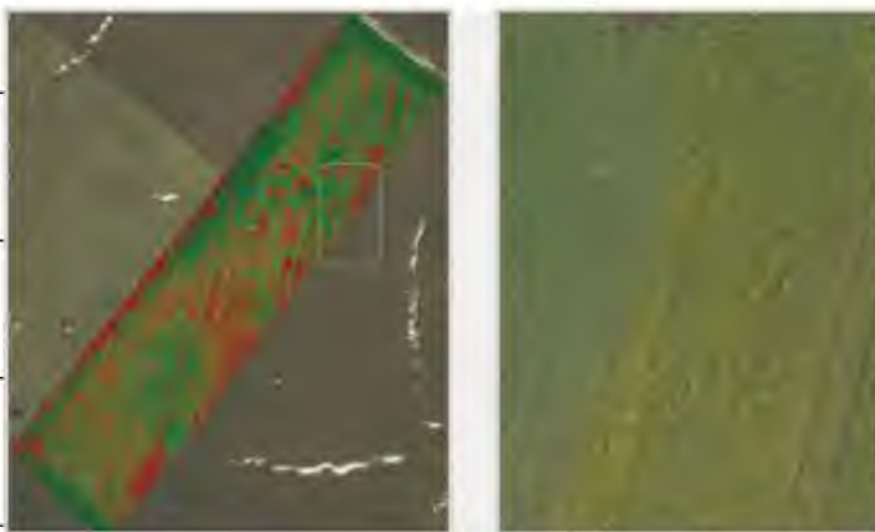


Рис. 2.13. Індексна карта й ортофотоплан поля озимого ріпаку в господарстві Хмельницької області, 2021 рік.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сиппента.

Парадокс, адже велика маса бур'яну повинна давати збільшений показник вегетаційного індексу, як це в описаних вище прикладах. Натомість тут спостерігаємо різке падіння показників індексу. Справа в тому, що на проблемних ділянках відбувається цвітіння й активний розвиток бур'яну – суріпиці звичайної (*Barbarea vulgaris* R. Br., або *Campe barbarea* (L.) W. Wight ex Pers.). Жовті квіточки-суріпиці на спектральній камері відбивалися як рослини з відмерлим листовим апаратом, тому ці ділянки мали низький вегетаційний індекс. Коли було з'ясовано причину зниженого індексу – засміченість суріпицею, постало завдання вирахувати рівень забур'яненості. Це можна зробити, сегментуючи ділянки за рівнем вегетаційного індексу. На цьому полі біля 30 % з високим рівнем забур'яненості суріпицею. Це вплине на майбутній

розвиток рослин ріпаку і його врожайність. Тому господарству потрібно обробити поля гербіцидом. Однак, згідно з картою, поле можна обробляти не повністю – чітко видно локальні осередки суріпиці. Обприскування по осередках бур'яну дасть чималу економію коштів і зменшить пестицидне навантаження на ценоз.

3. Оцінка стану посіву. Оцінити загальний стан посіву, виявити проблемні зони можна за допомогою простої RGB-камери у видимих діапазонах спектра. Можна знайти відмінності у розвитку за кольором посіву, побачити пошкоджені ділянки, визначити локальні місця забур'яненості тощо. Перераховане складно

ідентифікувати при звичайному маршрутному обстеженні. Натомість отриманий з висоти польоту дрона ортофотоплан поля дає таку можливість. Наведемо приклад з практики компанії Сінгента. В одному господарстві в Сумській області агроном помітив, що розвиток рослин неоднорідний, і першою його думкою про причини було неякісне насіння. За допомогою дрона було проведено

зйомку проблемних полів, де посіяно низку гібридів. Після обробки і зшиття фотографій отримали ортофотоплан цих полів у видимому діапазоні спектра (рис. 2.14.).



Рис. 2.14. Стан посівів трьох різних гібридів кукурудзи (за результатами RGB-зйомки) в господарстві Сумської області, 2021 рік.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сінгента.

Показано, що на всіх трьох полях, де було висіяно різні гібриди, спостерігалася однакова проблема – рівномірні смуги різного забарвлення. Це свідчить про нерівномірний розвиток рослин кукурудзи, але проблеми з насінням не могли дати таку форму плям – це була б конфігурація суцільного або хаотичного відставання в розвитку. Рівні смуги, порівняно однакові завширшки,

свідчили про проблеми з обробіткою ґрунту або внесенням добрив.

Додатково за допомогою пенетрометра було визначено щільність ґрунту і виявлено два шари ущільнення. Перший – на глибині 11–12 см, показник 2160–2220 кПа; другий – на глибині 28–30 см, показник 5900–6150 кПа. Завдяки цим обстеженням встановлено, що причина не в гібридах, а в способах і якості обробітку ґрунту, рівномірності розміщення азотних добрив та термінах їх заорювання в ґрунт. виправлення цих помилок допоможе господарству наступного року уникнути такої ситуації при використанні цих чи інших гібридів.

Різна забарвленість посіву на ортофотоплані сигналізує про певні проблеми в посіві. Їх можна ідентифікувати одразу при аналізі знімка або ж вони вимагають додаткових обстежень у точках поля, де зафіксовану цю різнобарвність. З ортофотоплану (рис. 2.15) видно, що рослини сої на більшості посіву бурі, а частина посіву має зеленувато-бурий відтінок. З огляду на те, що це жовтень, причина зрозуміла – нерівномірне дозрівання. Частина посіву перебувала у фазі ВВСН 87–90, інша – у фазі ВВСН 80–85. Візуально видно, що площа під ділянками з різним рівнем дозрівання приблизно однакова, але розташування їх хаотичне. Тому для вирівнювання дозрівальної стиглості і для запобігання втратам урожаю при збиранні на цьому полі слід провести

десикацію



Рис. 2.15. Нерівномірне дозрівання сої в полі, 2021 рік.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

В іншій ситуації швидко встановити причину на основі тільки ортофотоплану не вдалося. На ортофотоплані видно, що посів соняшнику на полі

має різне забарвлення (рис. 2.16.б). На індексній карті чіткіше видно ділянки, де розвиток рослин відстає (рис. 2.16.в). При наземному обстеженні на ділянках, де спостерігалося пригнічення рослин, було виявлено осередки ураження соняшнику фомопсисом (рис. 2.16.а).

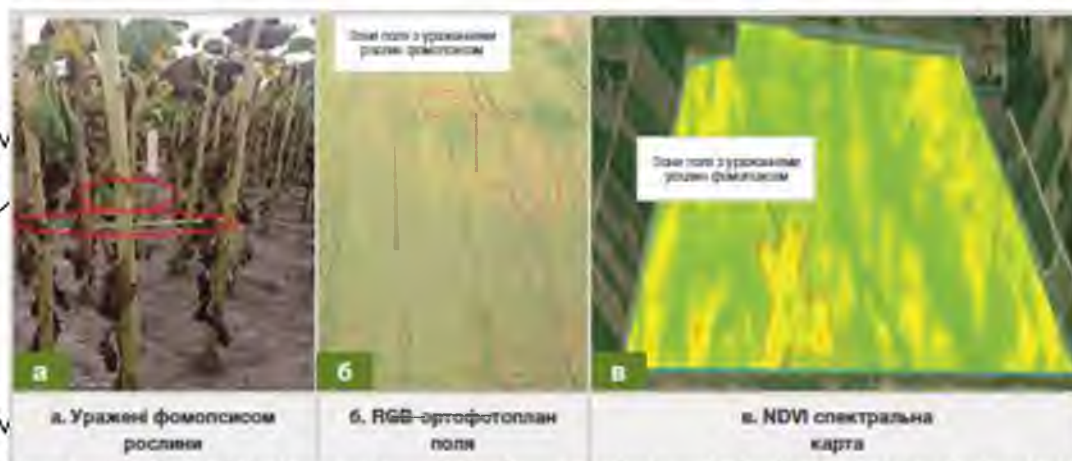


Рис. 2.16. Обстеження поля соняшнику за допомогою дрона в господарстві Рівненської області, 2021 рік.

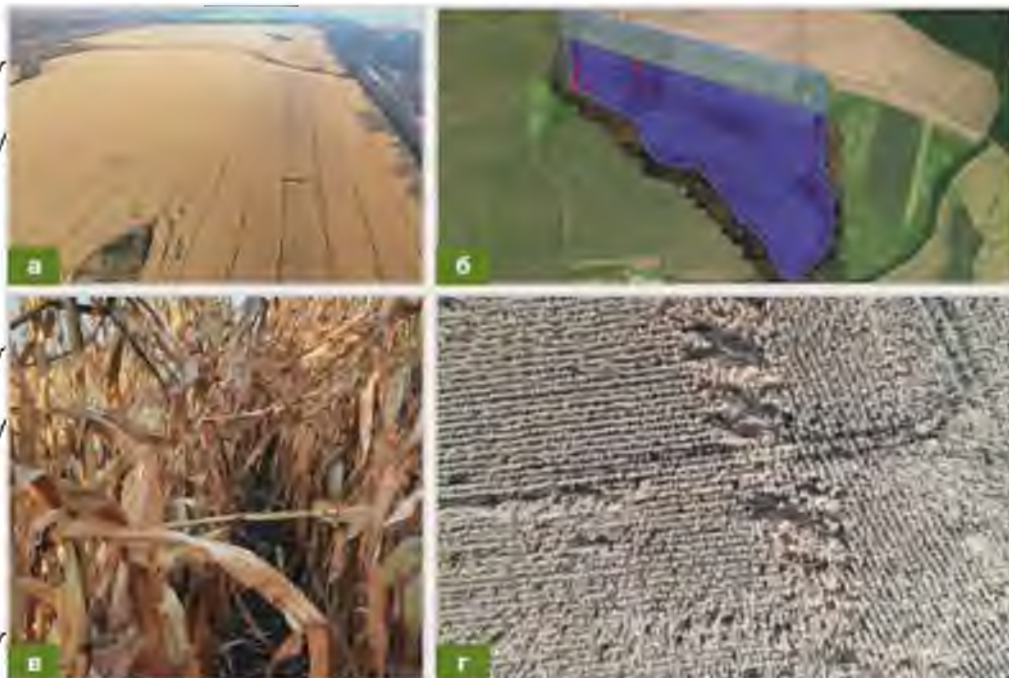
Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

На спектральній карті можна виділити осередки ураження, визначити площу цих осередків. Щоб запобігти поширенню хвороби, можна провести вибіркове обприскування фунгіцидами саме осередків ураження соняшнику, використовуючи сучасний дрон-обприскувач. Це можливо зробити, адже точні координати зон ураження вже отримано при обстеженні.

4. Виявлення осередків ураження інкідниками. Періодичне обстеження полів дроном із використанням звичайної камери дає змогу вчасно виявити осередки появи шкідників, хвороб або бур'янів. Розгляньмо ще один практичний досвід такого обстеження. Через місяць після початку льоту стеблового метелика, який визначили за допомогою відлову на світлові пастки, провели обстеження поля кукурудзи дроном (рис. 2.17.)

Як бачимо, на загальному ортофотоплані чітко видно осередки пошкодження рослин кукурудзи личинками стеблового метелика (рис. 2.17.а). Якщо опустити дрон нижче, можна побачити характер пошкодження в цих осередках (рис. 2.17.г). У цих місцях чітко видно проталії, які виникли внаслідок пошкодження (надлому волоті, стебла). Також якщо порівняти й

накласти спектральний знімок на ортофотоплан, можна визначити осередки пошкодження, де спектр має інше значення (рис. 2.17.б). Використання двох знімків дає додаткову інформацію з ортофотоплану ми бачимо характер пошкодження і їхню локацію.



а) Ортофотоплан посіву кукурудзи б) Спектральна карта посіву
в) Характер пошкодження стебловим метеликом г) Пошкоджені ділянки крупним планом

Рис. 2.17. Пошкодження посівів кукурудзи стебловим метеликом у Хмельницькій області, 2021 рік.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

Завдяки спектральному знімку можна вирахувати площу пошкодження і оцінити рівень загрози. У цьому прикладі осередки пошкодження склали сумарно 12 % площі. При маршрутному обстеженні можна частину з них виявити, але підрахувати площу і побачити всі місця зосередження стеблого метелика таким методом майже неможливо. Застосування цифрового підходу дало змогу точно оцінити локації і площу пошкоджених ділянок. Надалі для обробки цих ділянок локально використали дрон-обприскувач, який за координатами ділянок обробляє тільки визначені осередки. Так господарство не витрачає зайві кошти, знижує шкодочинність стеблого метелика, не дає осередкам розширитися та зменшує пестицидне навантаження на агрофітоценоз.

5. Визначення щільності рослин у полі. Після появи сходів виникає потреба

підрахувати рослини, щоб визначити їхню щільність у полі. Також часто треба оцінити стан посіву після зимівлі або після пошкодження градом, зливами, після дії гербіцидів, пошкодження шкідниками тощо. Традиційно складне питання, зберегти посів чи пересівати. З одного боку, агроном прагне зберегти попередню працю, вкладені ресурси, з іншого боку, стан посіву не тішить: наче є живі рослини, посів зріджений, але ж, може, щось вродить.

Що рекомендує агрономічна практика? Для визначення кількості рослин на 1 га посіву треба порахувати кількість рослин на довжині рядка відповідно до ширини міжряддя і дописати три нулі до отриманого числа рослин. Це

відповідатиме кількості рослин на одному гектарі. Наприклад, у посіві соняшнику з міжряддям 70 см на заліковій довжині 14,3 м нарахували 54 рослини. Це відповідає 54 тис. рослин на гектар. Відповідно при міжрядді 30 см

довжина ряду для вимірювання має бути 33,3 м. І таких вимірювань на полі

залежно від його площі буде понад десяток. Здебільшого такий облік роблять в

одній-двох точках на полі, що може не відповідати реальній середній щільності рослин у полі. Є інший, точніший спосіб провести оцінку – за допомогою дронів з використанням звичайної RGB-камери і програми (сервісу) з машинного навчання.

Використовуючи спеціальну програму, комп'ютер виділяє цільові рослини червоними квадратиками і підраховує їх (рис. 2.18.a). Головне завдання – це навчити програму виділяти саме цільові рослини, які вона відрізняє за формою й

розміром. Щоб зменшити похибку, програмуємо чітко виділяти рядки (це неважко зробити, особливо для широкорядних культур), і далі йде розпізнавання

та підрахунок рослин саме в рядку. Як видно з рис. 2.18.b, вдається виділити рослини ріпаку навіть при великій кількості рослинних решток на полі.

НУБІП УКРАЇНИ

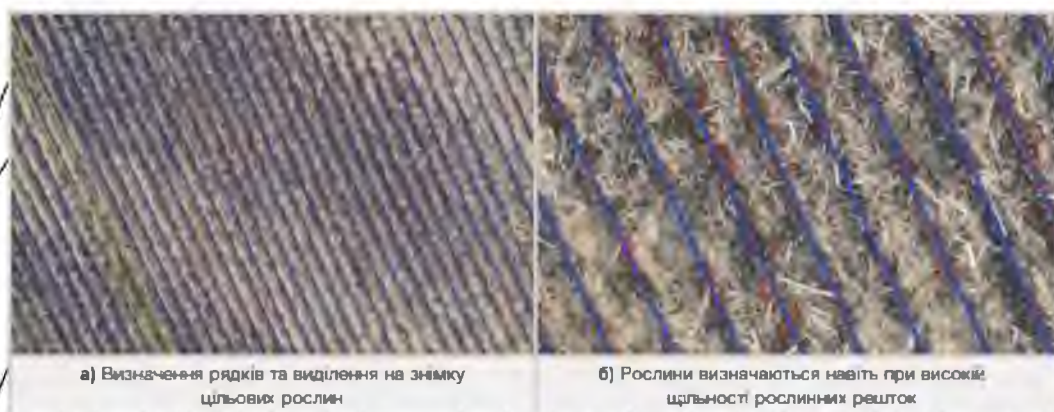


Рис. 2.18. Оцінка сходів ріпаку озимого за допомогою дрона і SkyGluf сервісу у господарстві Київської області, 2021 рік.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

Ще важлива деталь – утримання відповідної висоти зйомки, бо від висоти польоту залежить площа знімка і відповідно розрахунок щільності рослин. Проте втримати стабільну польотну висоту дрона дуже важко, тому в розрахунках можлива похибка. Програма прораховуватиме кількість рослин на знімку, але фактична площа поля, яка потрапила в цей знімок, може відрізнятись від розрахункової. Для обчислень береться бажана польотна висота, виставлена дослідником, але з огляду на рельєф поля дрон може відхилитись від цієї позначки. Цю проблему вдалося вирішити для широкорядних культур, де для розрахунку площі знімка брали ширину міжряддя. Ця величина стала, хоча іноді можуть бути огріки, коли рядки подвоюються внаслідок помилок при посіві. Однак це буває не часто і ці ділянки можна просто ігнорувати в розрахунках.

Також є проблеми з недостатньою роздільною здатністю камери для роботи на вузькорядних культурах (зернові колосові, наприклад). В одному господарстві в Рівненській області обстежили густоту стояння рослин ріпаку перед входом у зимівлю. У господарстві вважали, що щільність рослин на полі була 1250 тис./га, тоді як при підрахунку дроном визначено лише 85 тис./га (рис. 2.19.). Чому виникла така різниця? Причина та, що в процесі машинного навчання програми орієнтувалися на фазу розвитку ВВСН 12–14 і вище, а рослини в меншій фазі розвитку ігнорувалися. Обстеження проводили перед входом ріпаку в період зимівлі, тому ймовірність того, що сходи у фазі ВВСН

00–10 зможуть відновити вегетацію навесні, досить низька. Важливо, що огляд поля проводили з одного краю, тоді як з іншого рідіак мав поганий стан перед входом у зимівлю, що видно зі спектрального знімка.



Рис. 2.19. Визначення стану розвитку посіву ріпаку озимого у господарстві Рівненської області, 2021 рік.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

Для господарства стало очевидним, що перезимувати навіть за добрих погодних умов можуть лише 65 % рослин від усіх на полі. Відповідно треба планувати це поле як ризикове, яке, можливо, доведеться навесні пересівати іншою культурою.

Взагалі, проблема пересіву традиційно складна для ухвалення коректного управлінського рішення, бо це додаткові ресурси до вже витраченого. Та якщо таке рішення обґрунтоване і виважене, то ухвалюється легше і швидше, що важливо для запобігання зайвим витратам. Особливо часто такі питання виникають навесні після зимівлі озимих культур.

Крім підрахунку сходів, є інші можливості застосування дрона. В одному господарстві в Запорізькій області посів ріпаку після зими був зріджений, але господар не міг зважитися на пересів і скористався послугою обстеження за допомогою дрона. Було зроблено ортофотоплан поля, на якому вже візуально було видно, що посів має великі прогалини і рослинний покрив дуже нерівномірний (рис. 2.20.а). Наступний крок – фрагментували цей ортофотоплан, де виділили окремо сегменти з рослинним покривом і ґрунтом (рис. 2.20.б) та підраховували площу кожного складника (табл. 2.7.).



Рис. 2.20. Карта поля озимого ріпаку, зроблена за допомогою дрона в господарстві Запорізької області, 2021 рік.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

Таблиця 2.7

Розподіл площі поля за різними складниками за результатами побудови карти з дрона

Об'єкт	Площа, га	Площа, %
Рослини	23,7	20,5
Ґрунт	87,3	75,6
Незащита область	4,5	3,9

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

У результаті виявилось, що рослинами вкрито лише 20 % площі, а 87 % – це ґрунт, де рослини не перезимували або їхня щільність низька. На підставі цих даних керівник вирішив пересіяти поле соняшником. У результаті господарство хоч і витратилося додатково, але з поля отримало прибуток, якого не було б, якби залишили дозрівати ріпак, бо врожай з площі 20 га був би для господарства збитковим.

Тимчасом з цього поля отримали понад 30 ц/га соняшнику, що перекрило затрати і на ріпак, і на нову культуру і дало прибуток.

Наведемо ще один приклад оцінки стану посіву через сегментацію. Посів цукрового буряку пошкодив град. Господарство замовило оцінювання величини заподіяної шкоди, щоб з'ясувати, що робити з посівом далі. Компанія Сингента провела обстеження квадрокоптером і на спектральній карті виділили два сегменти з різним забарвленням, де червоні ділянки – зони високого пошкодження, сині – стан рослин задовільний (рис. 2.21.).

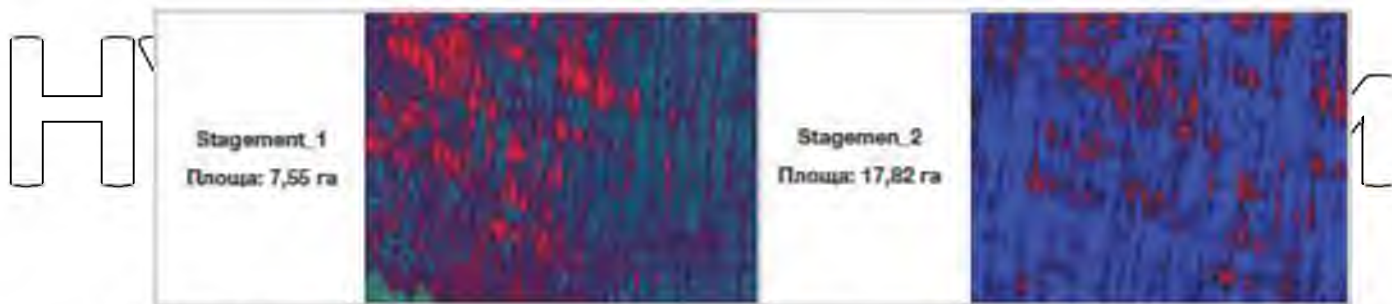


Рис. 2.21. Сегментація поля цукрового буряку, пошкодженого градом у господарстві на Рівненщині, 2021 рік.

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

У результаті аналізу цієї карти вдалося точно встановити, що на полі площею понад 25 га біля 30% (7,55 га) посіву знищено. Проте на 70% (17,82 га) буряк не дуже пошкоджено, рослини далі активно вегетували. Для зменшення наслідків пошкоджень господарству рекомендували внести органічне добриво Ізабіон®, яке завдяки пулу доступного азоту (вільні амінокислоти і низькомолекулярні пептиди) швидко виводить рослини зі стресових умов. Обробка добривом також підвищила рівень цукристості на 1%.

6. Вегетаційні індекси та врожайність. Сьогодні автоматизоване визначення потенційної врожайності посівних площ – актуальна проблема.

Підвищення врожайності культур можливе передусім шляхом мінімізації втрат при збиранні врожаю, вчасного початку збирання врожаю, правильного налаштування сільськогосподарської техніки в процесі жнив тощо.

При аналізі стану поля з використанням вегетаційних індексів у агрономів і керівників господарств часто виникає питання, чи ці індекси якось пов'язані з кінцевою врожайністю. Звичайно, якщо є проблеми в розвитку рослин, це неминуче вплине на майбутній урожай, однак важко при традиційному погляді пов'язати якісь індекси, цифри вегетаційного розвитку, індексні карти з реальним фізичним урожаєм. За численними даними, існує пряма кореляція, її враховують певні супутникові сервісні програми (зокрема, Storyo), які надають своїм користувачам карти врожайності сільськогосподарських культур. Світові компанії й ринки будують прогнози цін, валового збору зерна на основі формул, які відбивають залежність урожаю від величини вегетаційних індексів.

На рис. 2.22 представлено дві карти одного поля кукурудзи, вони схожі за величиною і за розташуванням відмінних за вегетаційними індексами зон.

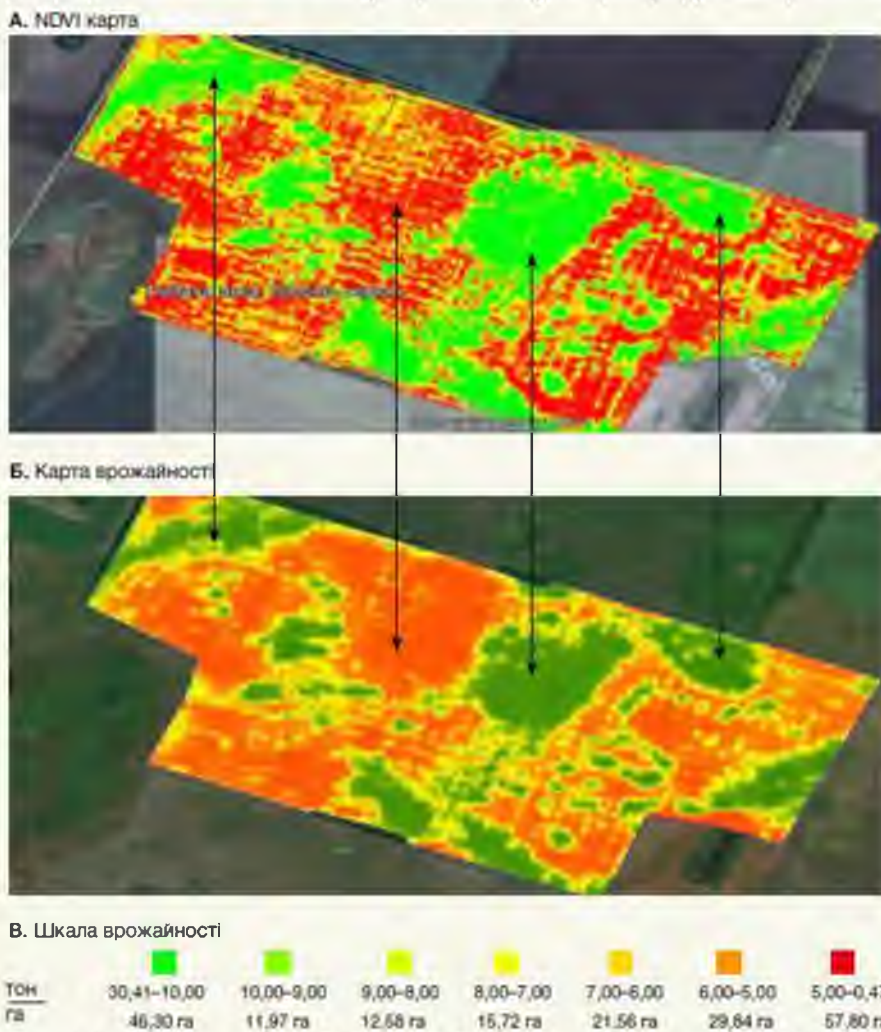


Рис. 2.22. Порівняння NDVI карти та карти врожайності кукурудзи в господарстві Полтавської області, 2021 рік

Джерело: систематизовано автором на основі даних компанії Сингента.

На перший погляд здається, що це різні вегетаційні індекси, наприклад NARI та NDVI. Насправді це карти, побудовані за різними схемами. Перша (рис. 2.22.а) — на основі звичайного супутникового моніторингу програмою FarmShots. А от другу карту (рис. 2.22.б) побудовано наземним обладнанням, встановленим на комбайн, яке вимірювало фактичний урожай у кожній точці поля. Кожну таку точку встановлював GPS-датчик цього обладнання.

Результати дослідження свідчать, що при NDVI близько 0,7 урожайність вища за 10 т/га, а на ділянках із NDVI близько 0,5 спостерігалася урожайність кукурудзи вдвічі менша. Така закономірність спостерігається на всій площі поля:

де вищий індекс, там вищий урожай зерна, і навпаки - на площі із меншим показником вегетаційного індексу врожайність кукурудзи падала. Цей приклад демонструє оперативність, точність і доцільність проведення моніторингу посівів за допомогою цифрових технологій. На основі експрес-моніторингу

можна визначити зони ризику, їхні розміри, вчасно встановлювати причини та, по можливості, виправляти негативні наслідки розвитку рослин. Це в кінцевому підсумку сприяє підвищенню врожаю на всьому полі, а не на окремих його ділянках. Тому, при аналізі карт вегетаційного розвитку слід одразу моделювати,

що кожний колір на карті свідчить про конкретний рівень розвитку рослин, який потім втілюється в конкретну цифру врожайності в центнерах на гектар.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3.

НАПРЯМИ ПОШИРЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В УПРАВЛІННІ АГРОБІЗНЕСОМ3.1. Підвищення ефективності управління агробізнесом з
використанням штучного інтелекту.

Зростання населення планети, яке, за прогнозами, досягне 10 мільярдів до 2050 року, чинить значний тиск на сільськогосподарський сектор з метою збільшення виробництва сільськогосподарських культур та максимізації врожайності [67]. Для вирішення проблеми дефіциту продовольства, що насувається, існує два можливих підходи: розширення землекористування та перехід до великомасштабного фермерства або впровадження інноваційних практик та використання технологічних досягнень для підвищення продуктивності на існуючих сільськогосподарських угіддях.

Зважаючи на численні перешкоди на шляху до досягнення бажаної продуктивності сільського господарства - обмеженість земельних угідь, нестача робочої сили, зміна клімату, екологічні проблеми та зниження родючості ґрунтів, - сучасний сільськогосподарський ландшафт розвивається, розгалужуючись у різних інноваційних напрямках. Сільське господарство, безумовно, пройшло довгий шлях з часів ручних плугів або кінної техніки. Кожен сезон приносить нові технології, покликані підвищити ефективність та отримати максимальну вигоду від врожаю. Однак, як окремі фермери, так і глобальні агробізнеси часто втрачають можливості, які штучний інтелект у сільському господарстві може запропонувати їхнім методам ведення сільського господарства.

Спробуємо розібратися які ж саме переваги і перспективи штучного інтелекту для розвитку сучасного агробізнесу. Донедавна використання слів "штучний інтелект" і "сільське господарство" в одному реченні могло здатися дивним поєднанням. Адже сільське господарство було основою людської

цивілізації протягом тисячоліть, забезпечуючи прожиток і сприяючи економічному розвитку, тоді як навіть найпримітивніший ІІІ з'явився лише кілька десятиліть тому. Тим не менш, інноваційні ідеї впроваджуються в кожну галузь, і сільське господарство не є винятком. Останніми роками світ став

свідком стрімкого розвитку сільськогосподарських технологій, які революціонізували практику ведення сільського господарства. Ці інновації стають все більш важливими, оскільки глобальні виклики, такі як зміна клімату, зростання населення та дефіцит ресурсів, загрожують стійкості нашої

продовольчої системи. Впровадження штучного інтелекту вирішує багато проблем і допомагає зменшити багато недоліків традиційного сільського господарства.

Сучасний світ базується на даних. Організації в аграрному секторі використовують дані, щоб отримати ретельне розуміння кожної деталі

сільськогосподарського процесу - від розуміння кожного акра поля до моніторингу всього ланцюжка поставок продукції та отримання глибоких даних про процес формування врожайності. Предиктивна аналітика на основі штучного інтелекту вже прокладає шлях в агробізнес. За допомогою ІІІ фермери можуть

збирати, а потім обробляти більше даних за менший час. Крім того, ІІІ може аналізувати ринковий попит, прогнозувати ціни, а також визначати оптимальний час для посіву та збору врожаю.

Штучний інтелект у сільському господарстві може допомогти дослідити стан ґрунту для збору інформації, відстежувати погодні умови та рекомендувати внесення добрив і пестицидів [42, 49]. Програмне забезпечення для управління фермерськими господарствами збільшує виробництво та прибутковість, дозволяючи фермерам приймати кращі рішення на кожному етапі процесу вирощування сільськогосподарських культур.

Підвищення врожайності - постійна мета фермерів. У поєднанні зі штучним інтелектом точне землеробство може допомогти фермерам вирощувати більше врожаю з меншими витратами ресурсів. ІІІ в сільському господарстві поєднує в собі найкращі практики управління ґрунтом, технології змінної норми

внесення добрив і найефективніші методи управління даними, щоб максимізувати врожайність при мінімізації витрат.

Застосування ІІІ в сільському господарстві надає фермерам інформацію про врожай в режимі реального часу, допомагаючи їм визначити, які ділянки потребують зрошення, внесення добрив або обробки пестицидами. Інноваційні

методи ведення сільського господарства, такі як вертикальне землеробство, також можуть збільшити виробництво продуктів харчування, мінімізуючи використання ресурсів. В результаті зменшується використання гербіцидів,

покращується якість врожаю, зростають прибутки, а також суттєво скорочуються витрати.

Сільськогосподарська праця важка, тому нестача робочої сили не є чимось новим. На щастя, автоматизація пропонує рішення без необхідності наймати

більше людей. Хоча механізація перетворила сільськогосподарську діяльність, яка вимагала надлюдського поту і тяглової сили тварин, на роботу, яка займає

лише кілька годин, нова хвиля цифрової автоматизації знову революціонізує цей сектор.

Автоматизована сільськогосподарська техніка, як-от безпілотні трактори, розумне зрошення, системи внесення добрив, сільськогосподарські дрони на базі

Інтернету речей, розумне обприскування, програмне забезпечення для вертикального землеробства та тепличні роботи для збору врожаю на базі штучного інтелекту - це лише деякі приклади. Порівняно з будь-яким

працівником фермерського господарства, інструменти, керовані ІІІ, набагато ефективніші й точніші.

Очікується, що ринок штучного інтелекту в сільському господарстві зросте з 1,7 мільярда доларів США у 2023 році до 4,7 мільярда доларів США до 2028 року, згідно з даними MarketsandMarkets [61].

Традиційне сільське господарство передбачає різні ручні процеси.

Впровадження моделей штучного інтелекту може мати багато переваг у цьому відношенні. Доповнюючи вже прийняті технології, інтелектуальна сільськогосподарська система може полегшити виконання багатьох завдань. ІІІ

може збирати і обробляти великі обсяги даних, визначаючи та ініціюючи найкращий курс дій. У таблиці 3.1. приведено поширені випадки використання ШІ в сільському господарстві.

Штучний інтелект, безсумнівно, відіграватиме дедалі більшу роль у сільському господарстві та забезпеченні продовольчої стабільності в найближчі роки. Технології завжди були в авангарді сільського господарства - від примітивних знарядь праці до іригації, тракторів і ШІ. Кожна розробка підвищувала ефективність, зменшуючи при цьому труднощі ведення сільського господарства.

Переваги штучного інтелекту в сільському господарстві є беззаперечними. Розумні сільськогосподарські інструменти, інтелектуальна автоматизація та продукти зі штучним інтелектом виконують повторювані трудомісткі завдання, завдяки чому працівники можуть використовувати свій час для більш стратегічних операцій, які потребують людського судження. Дедалі доступніший комп'ютерний зір разом із сільськогосподарською робототехнікою мають потенціал для прискорення розвитку штучного інтелекту в сільському господарстві.

ШІ має інструменти для вирішення проблем, пов'язаних зі зміною клімату, екологічними проблемами та зростаючим попитом на продовольство. Він зробить революцію в сучасному сільському господарстві, підвищивши ефективність, стійкість, розподіл ресурсів на додаток до моніторингу в режимі реального часу для отримання більш здорової та якісної продукції.

Однак ви не можете просто купити ШІ і почати його використовувати. ШІ не є чимось матеріальним - це набір технологій, які автоматизуються за допомогою програмування. По суті, алгоритм ШІ імітує спосіб мислення людини - спочатку він навчається, а потім вирішує проблеми на основі даних.

Трансформація сільського господарства за допомогою штучного інтелекту вимагатиме змін у галузі. Фермерів потрібно навчати і тренувати, як використовувати рішення на основі штучного інтелекту.

Переваги застосування ШІ в управлінні агробізнесом

Напрямок	Переваги застосування ШІ
Оптимізація автоматизованих систем зрошення	Алгоритми штучного інтелекту уможливають автономне управління посівами. У поєднанні з датчиками Інтернету речей (IoT), які відстежують рівень вологості ґрунту та погодні умови, алгоритми можуть в режимі реального часу вирішувати, скільки води потрібно надати культурам. Автономна система зрошення сільськогосподарських культур призначена для економії води та сприяння сталому веденню сільського господарства.
Виявлення витоків або пошкоджень в іригаційних системах	Аналізуючи дані, алгоритми можуть виявляти закономірності та аномалії, які вказують на потенційні витoki. Моделі машинного навчання (ML) можна навчити розпізнавати специфічні ознаки витоків, такі як зміни потоку води або тиску. Моніторинг та аналіз у реальному часі уможливають раннє виявлення, запобігаючи втраті води та потенційному пошкодженню врожаю. ШІ також враховує погодні дані та потреби культур у воді, щоб виявити ділянки з надмірним водоспоживанням. Автоматизуючи виявлення витоків і надаючи сповіщення, технологія ШІ підвищує ефективність використання води, допомагаючи фермерам заощаджувати ресурси.
Моніторинг врожаю та ґрунту	Неправильне поєднання поживних речовин у ґрунті може серйозно вплинути на здоров'я та ріст культур. Виявлення точних даних щодо поживних речовин і визначення їхнього впливу на врожайність за допомогою ШІ дозволяє фермерам легко вносити необхідні корективи. Отримані дані використовуються для визначення здоров'я культур, прогнозування врожайності та позначення будь-яких конкретних проблем.
Виявлення хвороб і шкідників	ШІ сканує зображення, щоб знайти цвіль, гниль, комах та інші загрози для здоров'я врожаю. У поєднанні з системами оповіщення це допомагає фермерам діяти швидко, щоб знищити шкідників або зловити посіви, щоб запобігти поширенню хвороб. ШІ використовується для виявлення чорної гнилі яблук з точністю понад 90%. Він також може ідентифікувати комах, таких як мухи, бджоли, молі тощо, з таким же ступенем точності.
Розумне застосування пестицидів	Дрони на базі штучного інтелекту забезпечують найкращі переваги як ручного так і автоматизованого внесення пестицидів, уникаючи при цьому таких недоліків як складність, низька точність чи швидкість внесення. Дрони використовують комп'ютерний зір для визначення кількості пестицидів, яку потрібно розпорошити на кожну ділянку. Хоча ця технологія все ще перебуває в роботі та швидко стає все більш точною.
Картування врожайності та прецизивна аналітика	Картування врожайності використовує алгоритми ML для аналізу великих наборів даних у режимі реального часу. Це допомагає фермерам зрозуміти закономірності та характеристики своїх культур, що дає змогу краще планувати. Поєднуючи такі методи, як 3D-картування, дані з датчиків і дронів, фермери можуть прогнозувати врожайність ґрунту для конкретних культур. Дані збираються під час декількох польотів дронів, що дозволяє проводити все більш точний аналіз за допомогою алгоритмів. Ці методи дозволяють точно прогнозувати майбутню врожайність конкретних культур, допомагаючи фермерам знати, де і коли сіяти насіння, а також як розподіляти ресурси для найкращої віддачі від інвестицій.
Автоматичне прополовання та збирання врожаю	Комп'ютерний зір можна використовувати для виявлення бур'янів та інвазійних видів рослин. У поєднанні з машинним навчанням комп'ютерний зір аналізує розмір, форму і колір листя, щоб відрізнити бур'яни від культурних рослин. Такі рішення можна використовувати для програмування роботів, які виконують завдання роботизованої автоматизації процесів (RPA), наприклад, автоматичну прополку. Насправді, такий робот вже ефективно використовується. Коли ці технології стануть більш доступними, прополовання та збирання врожаю можна буде повністю перекласти на розумних роботів.

Джерело: систематизовано автором.

Що це означає для працівників сільськогосподарської галузі? ШІ, ймовірно, змінить роль фермерів, перетворивши їх з працівників ручної праці на планувальників і наглядачів за розумними сільськогосподарськими системами.

Розуміння ІТ-рішень та агробізнес-аналітики потенційно стане більш корисним, ніж вміння користуватися традиційними інструментами або виконувати фізичну працю.

Незважаючи на те, що штучний інтелект і машинне навчання здатні докорінно змінити сільське господарство, вони потребують інших технологій

для синхронної роботи. Щоб скористатися всіма перевагами штучного інтелекту,

фермерам спочатку потрібна технологічна інфраструктура. На розробку цієї інфраструктури можуть піти роки, але це може призвести до створення надійної, перспективної технологічної екосистеми. Розуміння того, як працює штучний

інтелект і як найкраще інтегрувати технічні знання в реальні процеси, є життєво

важливим для максимізації його переваг. Ось чому партнерство з експертною

командою розробників програмного забезпечення - чудовий перший крок.

Постачальники агротехнологічних рішень відіграють важливу роль. Кожен з них повинен подумати над тим, як він може вдосконалити свої інструменти,

вирішити проблеми та чітко донести вимірювані переваги штучного інтелекту та

машинного навчання. Якщо цього вдасться досягти, майбутнє ШІ в сільському господарстві буде плідним.

Успіх людського суспільства значною мірою залежить від оптимізації його сільськогосподарських систем. Традиційні методи ведення сільського

господарства застарівають, потрібні передові технологічні рішення. У всьому

світі вплив автоматизації на промисловість завжди був значним. Зараз цифрові

технології відіграють величезну роль у трансформації сільського господарства,

а вплив штучного інтелекту в сільському господарстві буде величезним.

НУБІП УКРАЇНИ

3.2. Модель кооперації та масштабування досвіду використання інформаційних технологій компаній Сингента з кінцевими агровиробниками.

Цифрові рішення все більше проникають в усі сегменти сільського господарства. Для досягнення зростання прибутковості агробізнесу вкрай важливо максимально використовувати інноваційні технології. Ті ж компанії, які в найближчому майбутньому зможуть об'єднати свій бізнес в єдину систему на базі цифрової платформи, стануть беззаперечними лідерами ринку.

Цей підхід в Україні тільки починає зароджуватися - створення екосистем учасників ринку, нових бізнесів і партнерств. Він виражається не просто у використанні певних цифрових рішень, а у співпраці цілих цифрових платформ багатьох учасників ринку. В даному випадку мова йде про продаж не тільки продукції, а й послуг. Вітчизняні аграрії стрімко освоюють цифрові технології.

Практично всі великі холдинги в Україні зараз активно інвестують та впроваджують цифрові рішення. Також можна з упевненістю сказати, що на всіх рівнях агровиробництва в країні вже є свої лідери з великим досвідом впровадження цифрових технологій, і ми бачимо чітку тенденцію до зростання.

Цей процес взаємний: з одного боку, регулярно з'являються нові рішення для різних сфер аграрної діяльності, а з іншого - підприємства приходять до розуміння того, що впровадження цифрових технологій необхідне для сталого розвитку.

В Україні спостерігається активний розвиток практично всього спектру елементів точного землеробства, але на даний момент найбільшою популярністю користуються технології супутникового позиціонування, ГІС-системи і системи моніторингу та контролю техніки і якості виконуваних робіт. Такий стрімкий розвиток не завжди дозволяє грамотно адаптувати нові цифрові рішення, розібратися в прикладних аспектах і визначити їх практичну користь.

Таким чином, шлях або вектор діджиталізації в агропромисловому комплексі можна представити у вигляді трьох етапів для агрохолдингів і двох етапів (без останнього) для відносно невеликих фермерів (рис. 3.1.).

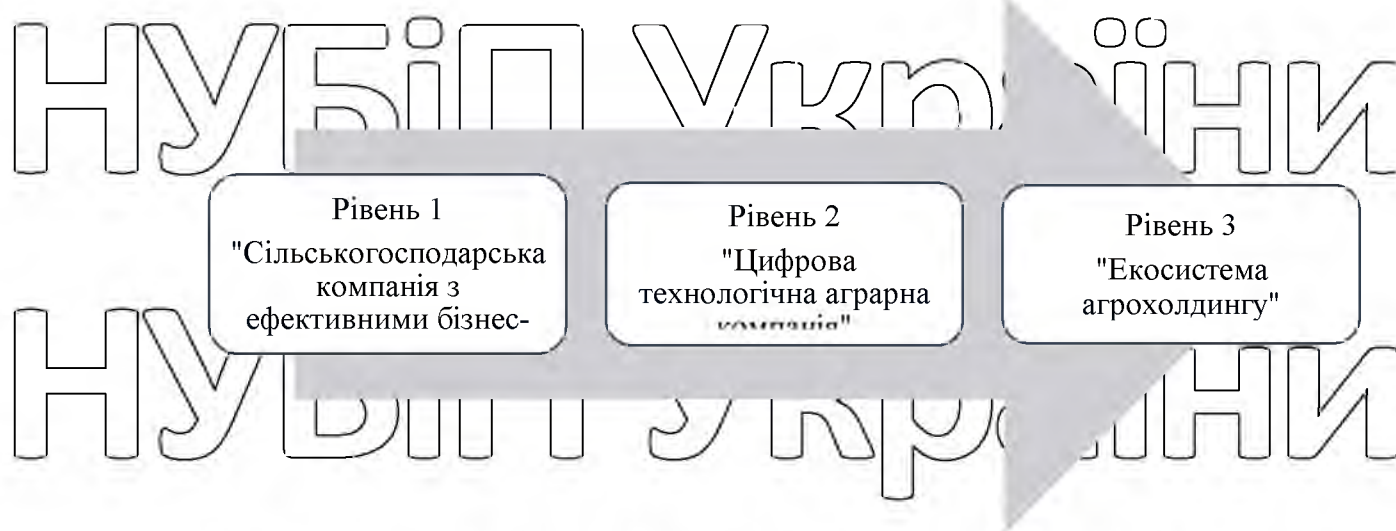


Рис. 3.1. Стадії розвитку діджиталізації в агропромисловому комплексі.

Джерело: складено автором.

1. Перша стадія характеризує аграрну компанію з ефективними бізнес-процесами. Тут мають бути впроваджені та повністю інтегровані внутрішні системи обліку та єдиний цифровий бек-офіс. Слід використовувати побудову дашбордів (інформаційних панелей, що відображають значення найважливіших бізнес-показників у режимі реального часу) та накопичення бази даних показників ефективності виробництва.

2. Другий етап розвитку - це вже компанія цифрових технологій. Вона використовує інноваційні технології, такі як точне землеробство, штучний інтелект, комп'ютерний зір, машинне навчання та інші. Ланцюги поставок у такому виробництві побудовані онлайн, продажі здійснюються як офлайн, так і онлайн. Постійно впроваджуються різноманітні інновації.

3. Третій етап - екосистема агрохолдингу. Тут вже побудована ціла інфраструктура інновацій. Учасники ринку інтегровані в єдину систему на базі цифрової платформи агрохолдингу. А продаж цифрових рішень/сервісів в АПК існує як окремий бізнес.

У найближчі роки діджиталізація аграрного сектору спричинить значні зміни в сільському господарстві та виробництві цієї галузі. Вона може забезпечити отримання економічних, екологічних та соціальних вигод, але водночас спровокувати низку проблем. Нерівномірний доступ до цифрових

технологій та послуг означає ризик виникнення цифрового розриву. Дрібні фермери та інші сільські жителі ризикують не встигнути за трансформацією не тільки з точки зору комп'ютерної грамотності та доступу до цифрових ресурсів, але й з точки зору продуктивності та різних аспектів економічної та соціальної інтеграції. Щоб отримати результат, впровадження технологій недостатньо.

Соціальні, економічні та політичні системи повинні забезпечити базові та супутні умови, які дозволять оцифрувати сільське господарство. Для досягнення зростання прибутковості бізнесу агропідприємствам вкрай бажано повністю освоїти другий крок запропонованого вище шляху. Для справжнього лідерства в

галузі через 7-10 років слід прагнути пройти третій крок. Але вже зараз перед багатьма вітчизняними агрокомпаніями стоять завдання перших двох етапів розвитку. Однак далеко не всі представники галузі впевнені в позитивному економічному ефекті цифровізації. У зв'язку з цим вкрай складно знайти докази

або переконливі розрахунки економічного ефекту тих чи інших заходів, пов'язаних з нею.

У наш час, коли інформаційні технології швидко змінюються, гравці агрохімічної галузі, від невеликих технологічних стартапів до великих транснаціональних гігантів, наввипередки досліджують, як цифрові інструменти

можуть розширити можливості сільськогосподарського виробництва, що призведе до зменшення впливу, збільшення швидкості, підвищення ефективності та прибутковості.

Сингента, як один з лідерів на ринку насіння і засобів захисту рослин, неминуче була залучена до цифровізації сільського господарства. Транснаціональні гіганти, такі як Bayer, Сингента та BASF, вже багато років є піонерами цифрового сільського господарства. Платформа цифрового сільського господарства має важливе значення для цифровізації сільського господарства.

Тому, розуміючи сучасні тенденції і швидко зростаючий попит, Сингента активно почала шукати рішення і моделі кооперації та масштабування досвіду використання інформаційних технологій з кінцевими агровиробниками. У вересні 2019 року Сингента придбала українську агротехнологічну компанію

Сторіо, діяльність якої охоплювала на той час понад 50 країн, переважно у Східній Європі. А вже у 2021 році система Cropwise еволюціонувала у Cropwise Operations у складі Syngenta Group. Після цього Syngenta Group об'єднала всі наявні цифрові інструменти в одну систему під брендом Cropwise – єдину платформу з інтегрованими сервісами та рішеннями, які спілкуються між собою, щоб фермери та консультанти могли зрозуміти, як оптимізувати та ефективно управляти своїм господарством (рис. 3.2).



Operations: Комплексне рішення для моніторингу полів та стану посівів в одному місці в режимі реального часу



Seed Selector: Персоналізовані рекомендації щодо посівного матеріалу, спеціально розроблені для кожного поля



Planting: Підвищення ефективності використання насіння та добрив за допомогою технології зі змінною нормою внесення



Commodity Pro: Фіксація вартості засобів захисту рослин від падіння цін на врожай



Spray Assist: Підбір і рекомендація способів і часу внесення ЗЗР



Imagery: Регулярний моніторинг стану посівів та порівняння з минулими періодами



Protector: Скаутинг і моніторинг полів для вчасного прийняття управлінських рішень



Sustainability: оцінки переваг у сфері сталого розвитку порівняно з іншими фермерами та визначення можливостей для вдосконалення

Рис. 3.2. Цифрові сервіси Cropwise управління господарством від Syngenta Group.

Джерело: складено автором.

Таким чином клієнти Сингенти в Україні в перспективі зможуть отримати

найпотужніший набір сучасних цифрових сервісів. На сьогоднішній день в Україні вже працюють три високотехнологічних інструменти: Cropwise Operations, Cropwise Seed Selector та Cropwise Planting.

По суті це модель кооперації з кінцевим агровиробниками не змінилась.

Розуміючи тенденції і вектор розвитку сучасного агробізнесу в бік цифровізації управління сільським господарством, Сингента додала в свій продуктовий ряд цифрові інструменти (сервіси), які дозволяють агровиробникам підвищувати свою конкурентоспроможність та підвищувати прибутки за рахунок

ефективного використання ресурсів та прийняття відповідних управлінських рішень.

З точки зору масштабування – це яскравий приклад еволюції трансформації бізнесу локальної технологічної компанії Сторіо з виходом на світовий ринок. Поєднавши цифрові інструменти управління аграрними підприємствами зі всіх континентів, Сингента в Україні отримала найпотужнішу цифрову платформу. А клієнти – найсучасніші цифрові інструменти.

Сучасні цифрові методи в агрономії стають дедалі зрозумілішими для агрономів, студентів, викладачів, учених, які працюють в аграрному секторі; їх перестають уникати і починають застосовувати. І не тільки впроваджувати, а й

шукати новинки в цій сфері, вдосконалювати технології вирощування. Не менш важливо розуміти цілі використання нейронних мереж, штучного інтелекту, залучення представників ІТ-сфери до вирішення питань аграрного виробництва.

І це робить сільське господарство високотехнологічним, з високим рівнем ЄВІТДА виробництва.

ВИСНОВКИ

Традиційна агрономія під впливом надпотужних викликів сучасності – необхідності суттєво підвищувати продуктивність рослинництва при скороченні ресурсів – стрімко трансформується в напрямках від намагання досягти високої продуктивності монокультур, що суперечить законам термодинаміки, до формування оптимальних агроценозів, які забезпечують сталий розвиток держави. Уже сьогодні традиційні підходи класичного агроаналізу заступають цифрові методи оцінки ґрунтово-кліматичних умов, створення систем прогнозування і шляхів регулювання розвитку рослин протягом вегетації. Ці дані наразі можна отримувати з більше як 140 супутників, які постійно працюють на орбіті Землі, численних типів дронів, БПЛА тощо. В арсеналі агронома – численні прилади для експрес-аналізу ґрунту, водного обміну ґрунту й рослин, стресу рослин, визначення дефіциту елементів живлення та багато іншого.

Суттєве підвищення продуктивності сучасного рослинництва базується на широкому застосуванні цифрових методів у моніторингу посівів сільськогосподарських культур. Ще кілька років тому було важко аргументувати доцільність використання вегетаційних індексів в агрономії. Керівники господарств і профільні фахівці переважно сприймали це, як незрозумілу дивовижу. Тепер, навпаки, дивно, якщо фахівець холдингу у своїх рішеннях не спирається на дані супутникового моніторингу. Господарники оцінюють стан посівів, одержують інформацію про стан ґрунту, рівні доступної вологи, інформацію про погодні умови та багато іншого саме завдяки цифровим методам.

Сьогодні інформаційні системи є необхідним інструментом для забезпечення ефективного управління аграрними підприємствами. Зокрема, вони дозволяють збирати, зберігати та обробляти великі обсяги даних, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень та оптимізації виробничих процесів.

Аналіз сучасних технологій та систем автоматизації, що використовуються для управління аграрними підприємствами показав, що такі системи дозволяють автоматизувати багато рутинних процесів, забезпечуючи швидке та точне

збирання та обробку даних. Крім того, вони сприяють покращенню комунікації та координації між різними підрозділами підприємства, що підвищує його ефективність.

Дослідження алгоритму використання інформаційних систем в агробізнесі продемонструвало, що ефективне використання інформаційних систем вимагає розробки та застосування відповідних алгоритмів, які дозволяють оптимально використовувати наявні ресурси та забезпечувати ефективне прийняття рішень.

Такі алгоритми можуть включати методи прогнозування, оптимізації та аналізу даних для підтримки управлінських рішень.

Завдяки проведеному аналізу використання вегетативних індексів і карт в управлінні агробізнесом встановлено, що такі індекси та карти дозволяють оцінювати стан рослинності та визначати оптимальний час для проведення агротехнічних заходів. Їх використання сприяє підвищенню врожайності та зниженню ризиків у вирощуванні сільськогосподарських культур.

Детальний аналіз переваг використання супутників і дронів в управлінні агробізнесом підтвердив гіпотезу, що супутникові знімки та дрони дозволяють здійснювати точний моніторинг стану полів, виявляти проблеми та приймати своєчасні рішення. Вони також забезпечують збір даних у реальному часі, що

дозволяє оперативно реагувати на зміни у виробничих

опрацювання реальних кейсів щодо використання сучасних інформаційних систем компанією Сингента для вирішення стратегічних завдань

управління агробізнесом показало, що впровадження таких систем дозволяє агровиробникам ефективно використовувати наявні ресурси, оптимізувати виробничі процеси, вчасно реагувати на виклики і проблеми та підвищувати конкурентоспроможність на ринку. Крім того, вони забезпечують зручний доступ до даних та аналітичні засоби для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Нами виявлено, що застосування штучного інтелекту дозволяє автоматизувати прийняття рішень, прогнозувати та аналізувати дані, а також виявляти складні зв'язки та патерни. Це сприяє покращенню якості

управлінських рішень та забезпечує конкурентні переваги.

Розгляд моделі кооперації та масштабування досвіду використання інформаційних технологій компанією Сингента з кінцевими агровиробниками дозволив зробити висновок, що така модель сприяє обміну знаннями та досвідом між компанією та агровиробниками, що підвищує ефективність використання інформаційних систем у сільському господарстві. Крім того, масштабування такого досвіду дозволяє розповсюджувати передові практики та технології серед широкого кола агровиробників, враховуючи нагальні виклики сучасності.

Загалом, результати роботи підтверджують важливість використання сучасних інформаційних систем в управлінні агробізнесом. Вони демонструють, що такі системи сприяють підвищенню ефективності виробництва, зниженню ризиків та покращенню конкурентоспроможності аграрних підприємств. Крім того, висвітлені в дослідженні тенденції та перспективи розвитку використання інформаційних систем у сільському господарстві, вказують на необхідність подальшого розвитку та впровадження цих технологій у практику вітчизняного агробізнесу.

Нові погляди на функціонування біоценозів за впровадження цифрових технологій і штучного інтелекту – основа для підвищення урожаїв, ефективності використання ресурсів у сільському господарстві, скорочення викидів парникових газів. А ще це напрями розвитку, привабливі для молоді. Створення і впровадження цифрових технологій у рослинництві забезпечує виконання вимог «GAP / Належної сільськогосподарської практики», що дозволяє отримувати високі врожаї культурних рослин, сприяє сталому розвитку України як однієї з цільних держав світу, яка є гарантом продовольчої безпеки. Це особливо важливо на тлі сучасних викликів, що постали перед нашою державою, перед усім людством.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ачасов А. Б., Седов А. О., Ачасова А. О. Оцінка забур'яненості посівів соняшника за допомогою безпілотних літальних апаратів. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. № 3-4 (26), 2016. С. 69-74.

2. Барвінський А. Оптимізація структури посівних площ сільськогосподарських культур на регіональному рівні. *Землепорядний вісник*. 2013, № 5. С. 52-55.

3. Білоног А. І., Бромот Д. І., Гнатієнко Г. М., Снитюк В. Є. Задача та нейромережна модель оптимізації структури посівних площ фермерського господарства. *Енергетика і автоматика*. 2022. С.23-36.

4. Буряк Р. І. Методологічні підходи до розробки систем менеджменту аграрних підприємств на основі вимог міжнародних стандартів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Сер. : Економіка, аграрний менеджмент, бізнес. 2013. Вип. 181(6). С. 69-79.

5. Гнатієнко Г. М., Домрачев В. М., Єрмак В. В., Сайко В. Г. Технології використання дронів у агрокібернетичі. Ідеї академіка В. М. Глушкова і сучасні проблеми теоретичної кібернетики. Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції «Глушковські читання» 18 грудня 2020 року. Київ, 2020. С.43-46.

6. Гнатієнко Г. М., Домрачев В. М., Сайко В. Г. Загосування інтелектуальних технологій для цифрового моніторингу стану сільськогосподарських посівів. Міжнародний науковий симпозіум «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РІШЕННЯ-С». Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи). Теорія прийняття рішень. праці міжнар. наук. симпозіуму, 29 вересня 2021 р., Київ – Ужгород, Україна. Мво освіти і науки України, КНУ імені Тараса Шевченка та [ін.]; наук. ред. В.Є. Снитюк. Київ: Видавець ФО-П Піча Ю.В., 2021. С.35-37.

7. Гнатієнко Г. М., Снитюк В. Є. Експертні технології прийняття рішень: Монографія. К.: ТОВ «Маклаут», 2008. 444 с.

8. Горобець Н. М., Хомякова Д. О., Стариковська Д. О. Перспективи

використання цифрових технологій в діяльності аграрних підприємств. *Ефективна економіка*. 2021. № 1. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8521>.

9. Зелінська О. В., Сухоцька С. М. Використання сучасних інформаційних технологій в агропромисловому комплексі. *Галицький економічний вісник*. 2016. № 2. С.148-152.

10. Зелінська О. В., Говоруха В. Р. Підвищення ефективності інформаційних систем в апк. *Ефективна економіка*. 2019. № 11. DOI: 10.32702/2307-2105-2019.11.47

11. Зозуля О.Л., Гнатієнко Ф.М., Домрачев В.М., Сайко В.Г., Філіппов О. Використання патернів зображення для оцінки ступеня пошкодження врожаю шкідниками. Прикладні системи та технології і інформаційному суспільстві: збірник тез та наукових повідомлень учасників V науковопрактичної конференції (Київ, 30 вересня 2021 р.)/ за заг. ред. В.Л. Плескач, В.Л. Миронова. К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2021. С. 80-83.

12. Єрмаков О.Ю., Гребеннікова А.А. Інноваційно-інвестиційне забезпечення виробничої діяльності сільськогосподарських підприємств. Монографія. Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2011. – 140 с.

13. Іщенко Н.Ф., Комарова, Скрипник Л.Р. Застосування сучасних технологій в контексті еколого-економічного обґрунтування землекористування аграрного сектору України. *Агроекономіка*. 2022. № 23 (2022). С. 24-31.

14. Кулешов А. В. Білик М. Щ. Фітосанитарний моніторинг і прогноз: навчальний посібник. Харків: Еспада, 2008. 512 с.

15. Манько Ю. П., Веселовский І. В., Орел І. В., Тапчик С. П. Бур'яни та заходи боротьби з ними. Київ. Учбово-методичний центр Мінагропрому України. 1998. 240 с.

16. Моніторинг шкідників сільськогосподарських культур : підручник. [Покозія Н.Т., Писаренко В.М., Довгань С.В. та ін.]; за ред. Н.Т. Покозія. К.: Аграрна освіта, 2010. 223 с.

17. Моргун В. В., Швартау В. В., Кірзій Д. А. Фізіологічні основи

формування високої продуктивності зернових злаків. Фізіологія і біохімія культ. рослин, 42. 2010. № 5. С. 371-392.

18. Моргун В. В., Швартау В. В., Коновалов Д. В., Михальська Л.М.,

Скрипльов В. О. Сучасні сорти та системи живлення і захисту пшениці озимої.

Київ: Логос, 2022. 106 с.

19. Піковська О. Щільність ґрунту за різних систем його обробітку. Пропозиція - Головний журнал з питань агробізнесу 2017. 15 серпня. URL: <https://propozitsiya.com/ua/shchilnist-gruntu-za-riznyh-system-yogo-obrobifku>.

20. Організаційно-економічний механізм відродження і розвитку меліоратії в Херсонській області. Монографія / за ред. Діброви А.Д., Андрієвського В.Є. НУБіП України; Інститут розвитку аграрних ринків. К. 2017. 350 с.

21. Руденко М. В. Технології цифрової трансформації сільськогосподарських підприємств. *Агросвіт*. 2019. № 23. С. 8-18.

22. Тараріко О. Г., Сиротенко О. В., Ільєнко Т. В., Кучма Т. Л. Агроекологічний супутниковий моніторинг. К.: Аграр. наука, 2019. 204 с.

23. Погурельський С. П., Мартин А. І. Формування оптимальних співвідношень земельних угідь як основа сталого природокористування. Збірник наукових статей "Шко Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю". Вінниця, 2011. Том. 2. С. 503-505.

24. Швиденко М. З., Саян С. П. Побудова інформаційної системи підтримки розвитку агропромислового виробництва та сільських територій регіону. Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні : Матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф., 15-16 трав. 2019 р. URL: <http://econference.nubip.edu.ua/index.php/grpi/grpi19/paper/view/1711/256>.

25. Юрчук Н. П. 2015. ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В УПРАВЛІННІ ДІЯЛЬНІСТЮ ПІДПРИЄМСТВА. *Агросвіт*. № 19. С. 53-58.

26. Arora G., Chilberto J. Hands-on design patterns with C# and .NET Core: write clean and maintainable code by using reusable solutions to common software

design problems. Paekt Publishing, 2019. 385 p.

27. Ayeneh A., van Ginkel M., Reynolds M. P., and Ammar K. 2002. Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Research*, 79(2-3). 173–184.

28. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006. 738 p.

29. Braga-Neto U. Fundamentals of Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2020. 357p.

30. Castrignano A., Wong M. T. F., Stelluti M., De Benedetto D., & Sollitto D. 2012. Use of EMF, gamma-ray emission and GPS height as multi-sensor data for soil characterisation. *Geoderma*, 175–176, 78–89.

31. Cohen Y., & Alchanatis V. Spectral and spatial methods for hyperspectral and thermal image analysis to estimate biophysical and biochemical properties of agricultural crops. In P. S. Thenkabail, G. J. Lyon, & A. Huete (Eds.), *Hyperspectral remote sensing of vegetation* (2nd ed.). Boca Raton, London, New York: CRC Press-Taylor and Francis Group. Four-Volume-Set. 2019. 546-550.

32. Coleman G., Salter W. & Walsh M. OpenWeedLocator (OWL): an open-source, low-cost device for fallow weed detection. *Sci Rep* 12, 170. 2022. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03858-9>.

33. Fadamiro H. Y., and Cibrowski J. Calendar of orchard events in Minnesota. *Integrated Pest Management Manual for Minnesota Apple*. 2003.

34. Fuchs M. 1990. Infrared measurement of canopy temperature and detection of plant water stress. *Theoretical and Applied Climatology*. 42(4), 253-261.

35. Gonzalez-Dugo V., Zarco-Tejada P., Berni J. A. J., Suarez L., Goldammer D., & Fereres E. 2012. Almond tree canopy temperature reveals intra-crown variability that is water stress-dependent. *Agricultural and Forest Meteorology*, 154–155. 156–165.

36. Gonzalez-Dugo V., Zarco-Tejada P., Nicola's E., Nortes P. A., Alarco'n J. J., Intrigliolo D. S., et al. 2013. Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard.

Precision Agriculture, 14, 660–678.

37. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*, Second Edition, Springer, 2021. 662 p.

38. Hawkesford, M. J. and Whalley, W. R. 2021. Advances in understanding of nitrogen (N) uptake by plant roots. in: Gregory, P. (ed.) *Understanding and improving crop root function* UK Burleigh Dodds.

39. Hnatiienko H., Domrachev V., Saiko V. Monitoring the condition of agricultural crops based on the use of clustering methods. 15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring 2021, Nov 2021, Volume 2021. 1-5, <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2049>.

40. Hnatiienko H. M., Snytyuk V. Y., Suprun O. O. Application of Decision-Making Methods for Evaluation of Complex Information System Functioning Quality. Selected Papers of the XVIII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Security» (ITS 2018). Kyiv, Ukraine, November 27, 2018, 56-65.

41. Hnatiienko H., Tmienova N., Kruglov A. Methods for Determining the Group Ranking of Alternatives for Incomplete Expert Rankings. In: Shkarlet S., Morozov A., Palagin A. (eds) *Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS'2020)*. MODS 2020. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1265. Springer, Cham. 2020. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-58124-4_21.

42. Hwang Y. H. *Machine Learning Projects: Nine real-world projects to build robust and high-performing machine learning models with C*, Packt Publishing, 2018. 350 p.

43. Jensen J. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (Pearson Series in Geographic Information Science) 4th Edition Publisher: Pearson; 4th edition (April 21). 2015. 56 p.

44. Index DataBase: A database for remote sensing indices. URL: <https://www.indexdatabase.de/db/i-single.php?id=28>.

45. Kovalenko, N., Kovalenko, V., Hutsol, T., Ievstafieva, Y., Polishchuk, A.

2021. Economic Efficiency and Internal Competitive Advantages of Grain Production in The Central Region of Ukraine. *Agricultural Engineering*, 51-62. DOI: <https://doi.org/10.2478/agriceng-2021-0004>.

46. Kolodiaznyi K. Hands-On Machine Learning with C++. Packt Publishing, 2020. 501 p.

47. Lakhno V., Kasatkin D., Buriachok V., Palekha Y., Saiko V., Domrachev V. 2018. It support in decision-making with regard to infra-red grain drying management. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Vol. 96 №22, 7587-7598.

48. Lazebnyk L., Voitenko V. 2021. DIGITAL TECHNOLOGIES IN AGRICULTURAL ENTERPRISE MANAGEMENT. *Financial and credit activity problems of theory and practice* No 6 (41). С. 203-209.

49. Liu H., Lee S., and Saunders C. 2014. Development of a machine vision system for weed detection during both of off-season and in-season in broadacre no-tillage cropping lands. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, vol. 9, 174-193.

50. Nakabuye H. N., Rudnick D. R., DeJonge K. C., Lo T. H., Heeren D. M., Qiao X., Franz T. E., Katimbo A., and Duan J. 2022. Crop water stress index computation approaches and their sensitivity to soil water dynamics. *Agric. Water Manag.* 266, 107575. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107575>.

51. Nasa. Official website. URL: <https://www.nasa.gov/>.

52. Nehrey, M., Koval, T., Rogoza, N., Galaieva, L. (2023). Application Possibilities of Data Science Tools in Agriculture: A Review. In: Hu, Z., Ye, Z., He, M. (eds) *Advances in Artificial Systems for Medicine and Education VI. AIMEE 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 159. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24468-1_23

53. Pantazi X.-E., Moshou D., & Bravo C. 2016. Active learning system for weed species recognition based on hyperspectral sensing. *Biosystems Engineering*, 146, 193–202.

54. Piktus F. G. Hands-On Design Patterns with C++: Solve common C++ problems with modern design patterns and build robust applications. Packt Publishing,

2019. 486 p.

55. Rabbitt, Mary C. The United States Geological Survey: 1879-1989 USGS Publications Warehouse. 1989. DOI:10.3133/cir1050.

56. Reznik N., Ostapchuk A., Cherkasov A., Fedun I., Alekseieva K. 2020.

Digitalization as a priority of development of public-private partnerships in the agrarian sector. *International Journal of Advanced Science and Technology*, Vol. 29 (8 Special Issue), 2524-2530 URL: <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/14755>.

57. Reynolds MP., Pask AJD. and Mullan DM. (Eds.) Physiological Breeding I:

Interdisciplinary Approaches to Improve Crop Adaptation. Mexico, 2012. D.F.: CIMMYT.

58. Robson A., Rahman M., & Muir J. Using Worldview Satellite Imagery to Map Yield in Avocado (*Persea americana*): A case study in Bundaberg, Australia. *Remote Sensing*, 9(12), 1223. 2017. 20 p.

59. Shirzadifar A., Bajwa S., Mireci S. A., Howatt K., & Nowatzki J. 2018. Weed species discrimination based on SIMCA analysis of plant canopy spectral data. *Biosystems Engineering*, 171, 143–154. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.04.019>.

60. Skrypnyk A., Klymenko N., Tuzhyk K., Galaieva L., Rohoza K. 2021. Prerequisites and prospects for sustainable development of grain production in Ukraine. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*, vol.7, no.3, 90-106. DOI: <https://doi.org/10.51599/are.2021.07.03.06>

61. The International Society of Precision Agriculture. URL: <https://www.ispag.org/>

62. Imienova N., Snytyuk V. (2020). Method of deformed stars for global optimization, in: Proceedings of the 2020 IEEE 2nd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), Kyiv, Ukraine, pp. 1-4.

63. Tsvetkova I.I. and Vakhovskaya M.Yu. The use of digital technologies in agricultural management. E3S Web Conf., 392 (2023) 01028. DOI: 10.1051/e3sconf/202339201028.

64. Tsyganok, V., Kadenko, S., Andriychuk, O., Roik, B. 2017. Usage of multicriteria decision-making support arsenal for strategic planning in environmental protection sphere. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 24(5-6), 227-238.

65. Wierzchon S.T., Kłopotek M.A. Algorithms of cluster analysis. Institute of Computer Science, Polish Academy of Sciences. 2015. 310 p.

66. Wu W. 2014. The generalized difference vegetation index (GDVI) for dryland characterization. *Remote Sensing*, 6, no. 2, 1211-1233. URL: <https://doi.org/10.3390/rs6021211>.

67. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Sustainable development. URL: <https://sdgs.un.org/goals>.

68. DISCOVER NDVI AND ITS VALUABLE USES IN AGRICULTURE. URL: <https://botlink.com/blog/discover-ndvi-and-its-valuable-uses-in-agriculture>.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ
НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

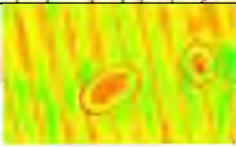
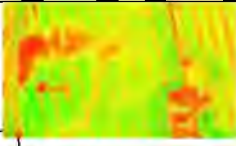
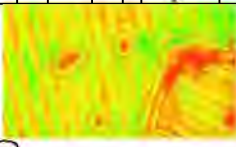
НУБІП України

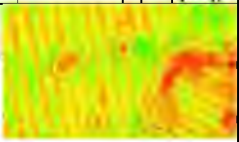
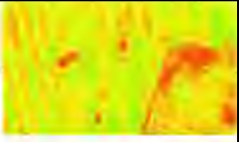
НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Найпоширеніші індекси відбиття для оцінки стану рослинного покриву України

Індекс Повне найменування індексу	Формула індексу	Коментар	Візуалізація індексів, зроблених на одному полі
1	2	3	4
NDVI Normalized Difference Vegetation Index (Нормалізований диференційний вегетатійний індекс)	$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$	Найчастіше вживаний показник кількості фотосинтетичної біомаси або/так N-статусу. Індекс широкого діапазону спектра й умов оцінки рівня вегетації і стану рослинності (відносний рівень рослинного покриву, оцінка й моніторинг стану рослинного покриву, оцінка продуктивності і врожайності)	
VARI Visible Atmospherically Resistant Index (Видимий атмосферостійкий вегетатійний індекс)	$VARI = \frac{(GREEN - RED)}{(GREEN + RED - BLUE)}$	Індекс широкого діапазону спектра й умов оцінки рівня вегетації і стану рослинності у видимому діапазоні спектра (відносний рівень рослинного покриву, оцінка й моніторинг стану рослинного покриву, оцінка продуктивності і врожайності). Дозволяє ідентифікувати ділянки з деградацією рослинності	
SAVI Soil Adjusted Vegetation Index (Індекс ґрунтово- регульованої рослинності)	$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED - L)}$ (+L)	Індекс вузького діапазону спектра й умов оцінки рівня вегетації з корекцією щодо ґрунту. Значення L варіює залежно від щільності зеленого покриву. За відсутності зеленого покриву $L = 1,0$, на полях із помірним зеленим покривом $L = 0,5$, за щільного зеленого покриву $L = 0$ (у цьому випадку дорівнює NDVI). Використовується для аналізу зрідженої рослинності біля 15-20% поверхні на ранніх і середніх стадіях росту	
GNDVI Green Normalized Difference Vegetation Index (Зелений нормалізований диференційний вегетатійний індекс)	$GNDVI = \frac{(NIR - GREEN)}{(NIR + GREEN)}$	Індекс вузького діапазону спектра й умов визначення чутливості до зміни вмісту хлорофілу, наявності стресу, рівня азоту в культурі (N-статусу) та оцінки старіння. Використовується для аналізу культур на середніх і пізніх стадіях росту	

1	2	3	4
GDVI Green Difference Vegetation Index (Зелений диференційний вегетаційний індекс)	$GDVI = NIR - GREEN$	Індекс визначення фотосинтетичної активності рослинного покриву для оцінки вмісту вологи й концентрації азоту в листках рослин (найчастіше застосовують до стану рослин кукурудзи). Використовується для аналізу культури на ранніх і середніх стадіях росту.	
NDRE Normalized Difference Red Edge Index (Нормалізований диференційний індекс червоного краю)	$NDRE = \frac{(NIR - REDEdge)}{(NIR + REDEdge)}$	Індекс визначення фотосинтетичної активності рослинного покриву з концентрацією азоту в листках рослин. Використовується для аналізу ураженої рослинності аоохта в ядіння.	
NDWI Normalized Difference Water Index (Нормалізований диференційний водний індекс)	$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$	Індекс визначення відносного рівня вологи на поверхні ґрунту та в листках рослин.	
LCI Leaf Chlorophyll Index (Індекс хлорофілу листків)	$LCI = \frac{R850 - R710}{R850 + R680}$	Індекс для оцінки вмісту хлорофілу в длія-ках повного покриття листками.	
TGI TGI – Triangular Greenness Index (Трикутний індекс зеленого)	$TGI = -0,5 \left[\frac{190(R670 - R550) - 120(R670 - R480)}{R670 - R550} \right]$	Індекс TGI базується на значенні відбиття на видимих довжинах хвиль. TGI відносять до найкращих спектральних індексів для детектування потреби в азоті для простих систем дистанційного детектування.	